



فيسيولوجيا الحيوان



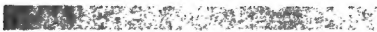
أ.د. مدحت حسين خليل محمد







فيسيولوجيا
الحيوان



جميع الحقوق محفوظة للناسر

جميع حقوق الملكية الأدبية والفنية محفوظة لدار الكتاب الجامعي - العين.
الإمارات العربية المتحدة. ويحظر طبع أو تصوير أو ترجمة أو إعادة تنفيذ
الكتاب كاملاً أو مجزأ أو تسجيله على أشرطة كاسيت أو إدخاله على الكمبيوتر
أو برمجته على أسطوانات ضوئية إلا بموافقة الناسر خطياً.

Copyright ©
All rights reserved

الطبعة الثانية

1425هـ - 2005 م



دار الكتاب الجامعي

عضو اتحاد الناسر العرب
عضو المجلس العربي للموهوبين والمتفوقين

University Book House

العين - الإمارات العربية المتحدة ص.ب. ١٦٩٨٣

فاكس: ٧٥٤٢١٠٢ هاتف: ٧٥٥٤٨٤٥ - ٧٥٥٦٩١١ (٣) (٩٧١)

Al Ain - United Arab Emirates P.O.Box 16983

Fax: 7542102 Tel:(971) (3) 7554845 - 7556911

تنمير وطباعة برجسي
٠٩١١٣٣١٦٨/٣١٢١٦١
هاتف: ٠٩١٢٧٩٥١٩٨٩١١

فيسيولوجيا

الحيوان

أ.د. مدحت حسين خليل محمد

PHYSIOLOGY
ANIMAL



المحتويات

الصفحة	
١	الباب الأول : مقدمة لعلم فسيولوجيا الحيوان : -----
٣	الباب الثاني : غشاء الخلية : -----
٣	تركيب الأغشية الحيوية -----
٦	الفوسفوليبيدات تكون طبقة مزدوجة في الماء -----
٧	تكوين الحويصلات المغلفة -----
٨	بروتينات الغشاء إما مندمجة أو سطحية -----
١١	عدم تماثل طبقتي الغشاء -----
١٢	الوظائف التخصصية لبروتينات غشاء الخلية -----
١٤	مرور المواد عبر أغشية الخلايا -----
١٤	الانتشار -----
١٥	الديليز أو الميز الغشائي -----
١٥	الاسموزية -----
١٨	الانتشار المسهل -----
١٩	النقل النشط -----
٢١	النقل النشط الأولي -----
٢٥	النقل النشط الثانوي -----
٢٧	نظم النقل المتعددة -----
٢٨	الابتلاع والطرود الخلوى -----
٢٩	الطرود الخلوى -----
٢٩	الابتلاع الخلوى -----
٣٠	الابتلاع الخلوى عن طريق مستقبل -----
٣٤	الروابط بين الخلايا -----
٣٩	الباب الثالث : التعض الخلوى -----
٤٠	حجم الخلية -----
٤٢	الخلايا المميزة النواة والخلايا الغير مميزة النواة -----
٤٨	العضيات الغشائية -----
٤٩	النواة -----
٥٠	الكروموسومات -----
٥٠	الريبوسومات -----
٥١	النظام الغشائي الداخلي -----
٥٢	الشبكة الإندوبلازمية -----
٥٤	معدن جولجى -----
٥٥	الليسوسومات -----

الصفحة

٥٩	الميتوكوندريا
٦٢	الأجسام المجهرية
٦٣	الهيكل الخلوي
٦٦	الأهداب والأسواط

الباب الرابع : الطاقة وعمليات البناء والهدم الخلوي (الأيض)

٦٩	الأيض
٧٠	التفاعلات الكيميائية
٧١	ضوابط معدلات التفاعل الكيميائي
٧٢	التفاعلات العكسية والغير عكسية
٧٢	الإنزيم الكيمائي
٧٣	قانون فعل الكتلة
٧٤	الإنزيمات
٧٥	التنفس الخلوي
٧٦	الخصائص العامة للإنزيمات
٧٦	العوامل المساعدة ومساعدات الإنزيمات
٧٧	تنظيم التفاعلات التي تتوسطها الإنزيمات
٧٨	حاملات الطاقة ونقل الطاقة الخلوية
٧٩	عملية تحلل الجلوكوز
٨٢	التفاعل الانتقالي
٨٢	دورة كريس
٨٤	نظام نقل الإلكترون
٨٦	نظرة شاملة على دورة كريس ككل
٨٨	التخمير (تعب العضلات والتعب والكحول)
٨٩	خصائص عملية الأكسدة الفوسفورية
٩١	عمليات بناء وهدم (أيض) الكربوهيدرات
٩٣	تكوين الجليكوجين
٩٥	تخليق الجلوكوز
٩٦	عمليات بناء وهدم (أيض) الدهون
١٠٠	عمليات بناء وهدم (أيض) البروتين
١٠٣	الميزان الأوتومي (ميزان النيتروجين)
١٠٥	نقطة التلاقي بين ميتابولزم الكربوهيدرات والدهون والبروتينات
١٠٦	عناصر الغذاء الرئيسية
١٠٩	الباب الخامس : سوائل الجسم - آليات الإترن الداخلي ووسائل الإحصال الخلوي
١٠٩	مكونات سوائل الجسم

الصفحة

١١٠	يستخدم النظائر المشعة في تقدير مكونات سوائل الجسم
١١٠	تقدير كمية الماء الكلية
١١٣	الموائل خارج خلوية
١١٤	تقدير حجم الدم
١١٥	البيئة للدخالية والإتران للدخلى
١١٦	للخصائص العامة لأجهزة تنظيم الإتران للدخلى
١١٧	التنظيم الحرارى للفيولوجى والسلوكى
١١٩	للتنظيم المرجى السالب والموجب
١١٩	للتغذية للأمام (مجموعى أمامى)
١٢٠	لتكاثف
١٢٠	الإقاعات البيولوجية
١٢٢	الإتران للدخلى والشيخوخة
١٢٢	مكونات أجهزة لتوازن الدخلى
١٢٣	استجابات الإتران للدخلى الوضعية
١٢٣	الإتمصال للخلوى
١٢٣	أنواع الرسائل الكيميائية للبين خلوية
١٢٦	المستقبلات
١٢٧	تنظيم عدد المستقبلات
١٢٨	آليات نقل الإشارة بمستقبلات غشاء الخلية
١٣٠	الأندينيلول سيكايز
١٣١	الإينوسيتول ثلاثى الفوسفات ولداى أسول جليسرول والفوسفوليبيزسى
١٣٢	الكالسيوم كرسول ثالى
١٣٣	ملاحظات عامة على آليات نقل الإشارة
١٣٦	الباب السادس : إقسام الخلية
١٣٧	الإقسام الغير مباشر
١٣٩	مرحلة الإقسام الغير مباشر
١٤٠	دورة للخلية
١٤٤	الباب السابع : أسس وراثة الحيوان
١٤٤	الإقسام الإختزالى وإنتاج الجاميطات
١٤٦	الإقسام الإختزالى الأول
١٤٧	الإقسام الإختزالى الثانى
١٤٨	عملية تكوين الحيرقات المنوية
١٤٨	عملية تكوين البويضات
١٥٠	دورة حياة الحيوان تنقسم لمرحلتين
١٥١	أسس الوراثة العصبولوجية

الصفحة

١٥٢	DNA المادة الوراثية هي الحامض النووي
١٥٤	RNA حمض النيوكليريك الصغيرة مادة الوراثة فيها هي
١٥٥	تنسخ المادة الوراثية وطرق التتبع
١٥٨	الطفرة
١٥٨	الطفرة التلقائية
١٥٩	الطفرة المستجدة
١٦١	DNA نظامة لإختلاف كمية المادة الوراثية
١٦١	ثبات للتوارث خارج النواة
١٦٣	في الميتوكوندريا DNA
١٦٥	تأثيرات الأم
١٦٥	العلاقة بين الوراثة النووية والوراثة الأمية
١٦٧	وظيفة المادة الوراثية
١٦٧	الشفرة الوراثية
١٦٨	ترادف الشفرة والتأرجح
١٦٩	عمومية أو شمولية للشفرة
١٦٩	عملية النسخ والترجمة
١٧١	المفهومين الكلاسيكي والعالى للجين
١٧٢	الأجسام المضادة
١٧٣	إفترادات لتفسير الأساس الوراثي لإختلاف الأجسام المضادة
١٧٥	أسس الوراثة المندلية
١٧٦	لقانون الأول لمندل
١٧٨	لقانون الثاني لمندل
١٨٠	تعابير (نار) الجين
١٨١	الوراثة المندلية في الإنسان
١٨٢	Cystic fibrosis مرض
١٨٤	أنيميا الكريات المنجلية
١٨٥	بعض الجينات لها أليلات متعددة مثل مجاميع الدم
١٨٦	وراثة الصفات الكمية
١٨٨	الارتباط كنتيجة لوجود الجينات على نفس الكروموسوم
١٨٩	الجينات المرتبطة بالجنس
١٩٠	مرض عى الألوان
١٩٢	الصفات السائدة والمرتبطة بالجنس
١٩٣	الصفات المتنكرة بالجنس
١٩٤	حالات الشذوذ الكروموسومي والأمراض للناجمة عنها
١٩٤	مرض البلاهة المنفوية

الصفحة

١٩٥	مرض كيرلر
١٩٧	مرض كلانكتر
١٩٨	الميتوكوندريا DNA للأمراض الناجمة عن شذوذ
١٩٨	الوراثة والبيئة والصحة العامة
٢٠١	علاقة الوراثة بالبيئة
٢٠١	الهندسة الوراثية
٢٠٥	مخاطر استخدام الهندسة الوراثية
٢٠٦	الباب الثامن : الأنسجة
٢٠٧	الأنسجة الأولية
٢١٠	النسيج الطلائي
٢١٠	النسيج الطلائي السطحى أو الغشائى
٢١٣	النسيج الطلائي الخدى
٢١٤	العلاقة بين التركيب ووظيفة الأنسجة الطلائية
٢١٥	النسيج الضام
٢٢٣	النسيج العضلى
٢٢٦	النسيج العصبى
٢٢٨	أساسيات الإتران الدخلى
٢٣٠	الأفراس الإنعكاسية
٢٣٠	لتحكم الكيمياء
٢٣٢	المساعات البيولوجية والتحكم فى نظم الجسم الداخلية
٢٣٣	الأضرار الناجمة عن الإخلال بساعات الجسم الداخلية
٢٣٤	الباب التاسع : للتغذية - الجهاز الهضمى - الهضم والإمتصاص
٢٣٥	العناصر الغذائية
٢٣٥	العناصر الغذائية الرئيسية
٢٣٧	الكربوهيدرات
٢٣٨	الأكليات الذائبة فى الماء
٢٣٩	الأكليات الغير ذائبة فى الماء
٢٣٩	الدهون
٢٤٠	هضم الدهون
٢٤١	البروتينات
٢٤٢	هضم البروتين
٢٤٣	خفض مستوى كولسترول الدم
٢٤٣	العوامل المسببة لتصلب الشرايين
٢٤٤	نصائح لتقليل مخاطر الكولسترول فى الإنسان
٢٤٥	الفيتامينات والمعادن

الصفحة

٢٤٨	مكونات الجهاز الهضمي في الإنسان
٢٤٩	الدم والهدم الميكانيكي للغذاء وظائف اللعاب
٢٥٠	اللسان
٢٥٠	البلعوم
٢٥١	المعدة
٢٥٤	ينتقل الغذاء من المعدة إلى الأمعاء الدقيقة
٢٥٥	لتحور في التركيب لأداء وظيفة الإمتصاص في الأمعاء الدقيقة
٢٥٨	البنكرياس
٢٥٩	الأمعاء الغليظة
٢٥٩	تنظيم عملية الهضم
٢٦٢	الحياة الصحية ترتبط بالغذاء الصحيح
٢٦٣	لقناة الهضمية في الدجاج
٢٦٣	الدم والبلعوم
٢٦٥	المرئ والحوصلة
٢٦٥	المعدة الحقيقية والقوصة
٢٦٥	الأمعاء الدقيقة
٢٦٦	الأعور والأمعاء الغليظة وفتحة لمجمع
٢٦٧	حركة المعدة الحقيقية
٢٦٧	حركة القوصة
٢٦٨	حركة الأمعاء الدقيقة والأعور
٢٦٨	الجهاز الهضمي في المجترات
٢٧٠	عملية الإجتراء
٢٧٠	الكرش
٢٧٢	لشبكة أو القلسوه
٢٧٢	لورقية
٢٧٢	الأنفحة
٢٧٢	هضم السيلولوز في بعض الثدييات غير المجتررة
٢٧٣	cloth تركيب المعدة في حيوان الكسلان
٢٧٤	بعض الطيور الداجنة لها أعورين كبيرين لهضم السيلولوز
٢٧٥	الباب العاشر : الجهاز الهضمي
٢٧٦	الدم
٢٧٨	يلتزم الدم
٢٧٩	خلايا الدم
٢٨٢	الأمراض الناتجة عن الخلل في خلايا الدم الحمراء
٢٨٤	خلايا الدم البيضاء

الصفحة

٢٨٧	الأمراض الناجمة عن الخلل في وظائف خلايا الدم البيضاء
٢٨٨	الصفاغ الدموية وتجلط الدم
٢٩٠	الأضرار الناجمة عن اضطراب عملية التجلط
٢٩١	تنظيم إنتاج خلايا الدم
٢٩١	القلب
٢٩٢	الدورة الرئوية
٢٩٣	الدورة الجهازية
٢٩٤	التركيب التشريحي للقلب
٢٩٧	أصوات القلب
٢٩٨	عضلة القلب
٢٩٨	تنظيم نبض القلب
٣٠٠	الإختلاج القلبي
٣٠٠	الرسم الكهربائي للقلب
٣٠١	الأوعية الدموية
٣٠٣	جهاز التوزيع
٣٠٤	ضغط الدم الشرياني
٣٠٩	الجهاز الليمفاوي
٣١١	مرض القلب
٣١٣	الباب الحادي عشر : الجهاز التنفسي
٣١٤	التنفس
٣١٤	تركيب الجهاز التنفسي ونظامه
٣١٨	الجسيمات الدقيقة المحمولة في الهواء
٣٢٠	الحويصلات الهوائية هي مكان التبادل الغازي
٣٢٢	الوظائف الرئيسية للجهاز التنفسي
٣٢٣	المصور التي يحمل بها نكبي أكسيد الكربون في الدم
٣٢٣	دور الجهاز التنفسي في عملية إصدار الأصوات
٣٢٤	أمراض الجهاز التنفسي
٣٢٦	ميكانيكية وتنظيم التنفس
٣٢٧	أحجام هواء التنفس
٣٢٨	تنظيم التنفس
٣٢٨	التنظيم العصبي للتنفس
٣٣٠	التنظيم الكيميائي للتنفس
٣٣٣	الباب الثاني عشر : الجهاز البولي
٣٣٤	وظائف الكليتين
٣٣٤	تركيب الجهاز البولي

٢٣٦	تركيب لأكلية
٢٤١	ملاحظات عامة على تركيب لأكلية
٢٤١	وظائف الغفرون
٢٤٧	الغفرون : التحكم في الفعل الإنعكاسى
٢٤٩	الأكليين كأعضاء في تنظيم الإتران للدخلى بالجسم
٣٥٠	تنظيم ميزان الماء والصوديوم والبوتاسيوم
٣٥١	تنظيم إعادة إمتصاص الماء
٣٥٥	عمليات لأكلية الأساسية بالنسبة للصوديوم والماء
٣٥٦	تركيز البول : آلية التيار المتضاعف العكسى
٣٥٨	تنظيم لأكلية للصوديوم
٣٥٩	تنظيم معدلات الترشيح من حزمة الشعيرات الدموية
٣٦١	التحكم في إعادة إمتصاص للصوديوم
٣٦١	تنظيم البوتاسيوم
٣٦٥	تنظيم لكالمسيوم
٣٦٥	الإتران الدخلى لكالمسيوم
٣٦٩	الإتران الدخلى لكالمسيوم : لتنظيم الهرمولى
٣٧٠	الباب الثالث عشر : الجهاز العصبى
٣٧١	نظرة على الجهاز العصبى ككل
٣٧٢	للمصبع العصبى
٣٧٥	أنواع الخلايا العصبية
٣٧٧	الخصائص المميزة للخلايا العصبية
٣٨٤	الإستقطاب
٣٨٤	إعادة الإستقطاب
٣٨٧	النبضة العصبية وترتيبها على امكاد لخلية العصبية
٣٨٨	الإتران (التشابه) العصبى
٣٩١	للاقلات العصبية
٣٩٣	للاقلات العصبية وفكرة استخدام المبيدات الحشرية
٣٩٤	المخدر (البانج الموضعى)
٣٩٦	المسال المخى للشوكى
٣٩٦	الحبل الشوكى
٣٩٨	المخ
٤٠٠	المخخ
٤٠١	المخ الامامى
٤٠٢	قشرة المخ
٤٠٤	وظائف الارعى

الصفحة

٤٠٤	المخ المنتشر
٤٠٤	المهاد وثحت المهاد
٤٠٥	الجهاز الإنعاشي
٤٠٥	الجهاز العصبي الطرفي
٤٠٨	الجهاز العصبي الجسمي
٤٠٨	الجهاز العصبي الذاتي
٤٠٩	الجهاز العصبي السمبثاوي والباراسمبثاوي
٤١١	الباب الرابع عشر : الجهاز العضلي
٤١١	أنواع العضلات
٤١٧	آليات الانقباض العضلي
٤١٩	إقباض العضلة
٤٢١	حالات الانقباض والراحة للعضلة
٤٢٢	الشد العضلي
٤٢٤	أثر طول الليف العضلي على التوتر العضلي
٤٢٥	قوة الانقباض والانقباضات المتكررة
٤٢٦	التقلص العضلي المستمر
٤٢٧	الألياف العضلية السريعة والبطيئة الارتعاش
٤٢٩	الباب الخامس عشر : جهاز الغدد الصماء
٤٣٧	هرمونات الغدد الصماء وأماكن إنتاجها وتركيبها الكيميائي وأثرها الرئيسي
٤٣٤	التركيب الكيميائي للهرمونات
٤٣٥	وظائف الهرمونات
٤٤٠	تخليق وإفراز الهرمونات
٤٤٢	نظم الإفراز الهرموني
٤٤٤	كيفية التنظيم الرجعي
٤٤٧	أنواع الرسائل الكيميائية المنظمة
٤٤٩	الغدة النخامية
٤٥١	الهرمونات المنفرزة من القوس الأمامي للغدة النخامية
٤٥٤	هرمونات القوس الخلفي
٤٥٦	الغدة الدرقية
٤٥٧	الوظائف البيولوجية لهرمون الغدة الدرقية
٤٥٨	الغدد جاروات الدرقية
٤٥٩	هرمون الإنسولين
٤٦٠	مرض البول السكري
٤٦١	الغدة الجاركلوية
٤٦١	قشرة الغدة الجاركلوية

٤٦٣	الأمراض الناجمة عن الخلل في إفرازات غدة الجار كلبية
٤٦٥	الباب السادس عشر : للتواصل والأجهزة التناسلية
٤٦٨	تركيب ووظائف الجهاز التناسلي للذكرى
٤٧١	نقل الحيوانات المنوية
٤٧١	إنتصاب القضيب
٤٧٣	العمة (أو المعز الجنسي)
٤٧٣	عملية تقذف
٤٧٤	التحكم الهرموني للوظائف التناسلية فى الذكور
٤٧٦	تركيب ووظائف الجهاز التناسلي الأنثوى
٤٧٩	وظائف المبيض
٤٨١	تكوين الجسم الأصفر
٤٨٢	الإفراز الدخلى للمبيض
٤٨٦	لتشبق فى الحيوانات لزرعية
٤٨٦	موعد التلقيح المناسب للحيوانات
٤٨٦	علامات تشبايح
٤٨٨	الباب السابع عشر : الجهاز المناعى
٤٨٨	للمرومات
٤٩٢	عملية التسخ (لتضائف الذاتى) للمرومات
٤٩٣	البكتريا
٤٩٤	خطوط الدفاع عن الجسم
٤٩٨	الجهاز المناعى
٥٠١	الأجسام المضادة وكيفية عملها
٥٠٤	المناعة السلبية
٥٠٥	الفرق بين المناعة واللقاح
٥٠٦	نقل الدم وغرس الأنسجة
٥٠٦	عمليات نقل الدم
٥٠٧	غرس الأنسجة
٥٠٨	أمراض الجهاز المناعى
٥٠٩	مرض ظاهرة نقص المناعة المكتسبة (الإيدز)
٥١١	هل يمكن مقاومة فيروس الإيدز
٥١٣	الباب الثامن عشر : الحيوان والبيئة (البيولوجيا الضغوط)
٥١٤	لتنظيم الحرارى
٥١٥	الإثران الحرارى
٥١٧	لتقد الحرارى
٥١٩	المدى الحرارى للمواقم

الصفحة

٥٢٠	كيفية التنظيم الحرارى
٥٢١	الإستجابة للجو الحار
٥٢٢	فسيولوجيا الإنسان فى الجو الحار
٥٢٣	أليات التقد الحرارى
٥٢٦	المعشش
٥٢٨	أثر التعرض لدرجات الحرارة العالية
٥٣٠	التنظيم الحرارى فى الصنمة الحارة أو الباردة
٥٣٤	الباب التاسع عشر : الأجهزة الحسية :
٥٣٦	المستقبلات
٥٣٧	جهد المستقبلات
٥٣٨	الحولس الخاصة والحولس العامة
٥٣٩	الحولس العامة
٥٤٠	نهايات الأعصاب الغير مغطاه
٥٤١	الألم
٥٤٢	اللمس الخفيف
٥٤٣	الحرارة
٥٤٤	المستقبلات المنكسلة
٥٤٤	لتأقلم
٥٤٥	الحولس الخاصة
٥٤٥	حاسة التفوق
٥٤٧	مصادر الأربع زكاهات الأساسية
٥٤٨	حاسة الشم
٥٤٩	العلاقة بين حاسة الشم وحاسة التفوق
٥٤٩	حاسة البصر
٥٥٢	حاسة السمع والإتزان
٥٥٤	التلوث السمعى
٥٥٥	الباب العشرون : الإستسناخ :
٥٥٥	لتقنية الحديثة ونقل الأنوية
٥٥٥	نظرة عامة على تجارب الإستسناخ ككل
٥٥٥	الإستسناخ من خلايا جنينية
٥٥٧	الإستسناخ من خلية جسمية لحيوان تام للنمو
٥٥٩	شرح لبعض المصطلحات العلمية
	المراجع

الباب الأول

مقدمة عن علم فسيولوجي الحيوان

كلمة **Physiology** معناها وظائف الأعضاء وقد أخذت هذه الكلمة وكُتبت بالعربية كما هي أو بإضافة حرف الألف في آخرها (فسيولوجي أو فسيولوجيا) وفي هذه الحالة فهي مثل باقي الكلمات الإنجليزية التي كُتبت كما هي ولكن بلغة عربية وتحمل نفس المعنى الإنجليزي والعكس صحيح فبعض كلمات اللغة العربية كُتبت كما هي بلغة الإنجليزية وتحمل نفس مضمون المعنى العربي للكلمة. ولكن في السنوات الأخيرة دأب بعض السادة العلماء العرب بتسمية جديدة وهي كلمة فسلجة (مثل فسلجة الحيوان - فسلجة الكائنات الدقيقة - فسلجة الحيوان والإنسان إلخ) وهذه الكلمة الأخيرة (فسلجة) لا يوجد لها معنى في القاموس الإنجليزي أو العربي ولكن يقصد بها المعنى الكامل لنفس كلمة فسيولوجي Physiology أو وظائف الأعضاء.

والوحدة الأساسية لكل الكائنات الحية هي الخلية (الخلية هي أصغر جزء من المادة الحية) وهناك نوعان من الخلايا هما : ١- خلايا غير مميزة النواة **Prokaryotic cells** ومن أمثلتها الخلية البكتيرية وهي كائن صغير جدا وحيد الخلية والنواة فيها غير محاطة بغشاء والمادة الوراثية DNA بها موجودة في خيط منفرد دائري **Single circular strand** كما أن هذه الخلايا بها قليل جدا من العضيات الخلوية والبعض يسمى هذه الخلايا أيضا خلايا غير حقيقية -٢- خلايا حقيقية أو خلايا مميزة النواة **Eukaryotic cells** والمادة الوراثية بها وهي DNA موجودة داخل النواة. والنواة فيها حقيقية أي محاطة بغشاء وفي منطقة محددة. وهي خلايا أكثر تعقيدا في التركيب وبها كل العضيات الميتوكوندريّة تقريباً.

وعلم فسيولوجي الحيوان يختص بدراسة وظائف الأعضاء لكل الكائنات الحية الحيوانية. أما بالنسبة لهذا الكتاب فسوف نختص بإذن الله بدراسة وظائف الأعضاء في الثدييات بما فيها الإنسان بالإضافة إلى الدواجن عموماً. وبمعنى آخر سوف نختص بدراسة وظائف الأعضاء في الإنسان والثدييات وباقي حيوانات المزرعة. وهنا يجب التنويه إلى أن فسيولوجي الإنسان لا يختلف في دراسته عن فسيولوجي الحيوان الزراعي إلا فيما يختص بالجهاز الهضمي. فيختلف الجهاز الهضمي في الإنسان عن الأبقار والجاموس والأغنام والماعز مثلاً فكل هذه الحيوانات المجترّة لها معدة منحورة لأربعة أجزاء لتلائم الخواص الغذائية لها ولتستطيع هضم السيلولوز (الألياف) التي لا تهضم في المعدة الحقيقية في الحيوانات وحيدة المعدة.

وبالتالى فإني أعتقد أن هذا الكتاب سوف يكون مفيداً لطلاب الزراعة والطب البيطرى والعلموم والتربية ولطلاب كليات الطب والميدلة خاصة الذين يدرسون منهم باللغة العربية.

وشرح أو إيضاح أى ظاهرة فسيولوجية ما هو إلا أننا نحاول إرجاعها إلى مسبباتها أو إرجاعها إلى الأحداث الفيزيوكيميائية والمتعاقبة والتي سببتها. وكل العمليات الفسيولوجية تشترك مع بعضها فى صفة واحدة وهى المحافظة على الحياة. وكل الظواهر أو العمليات الفسيولوجية يمكن وصفها أو إيضاها بالقوانين الطبيعية والكيميائية (النظرة الآلية Mechanist view للحياة). أما بالنسبة للنظرية الحيوية Vitalism فهي توضح أن هناك بعض القوى الحيوية Vital forces والتي تتفوق على القوانين الطبيعية والكيميائية وتلزم لتفهم طبيعة العمليات الحيوية أو طبيعة الحياة عموماً.

وكما ذكرنا من قبل أن العمليات الفسيولوجية أو أن وظائف الأعضاء عموماً تعمل من أجل المحافظة على الحياة وفى كثير من الأحيان نخطأ فى فهم هذه العلاقة ومثالاً لذلك فنحن نقول أن الإنسان يتبول ويتبرز للتخلص من المواد والفضلات الزائدة والسامة لجسمه كما نقول أن الإنسان يعرق للتخلص من الحرارة الزائدة وكل هذه الأشياء لو لم يتخلص منها الإنسان تسبب موته وهذا صحيح لكن هناك موضوع آخر وهو الآلية والمسبب Mechanism and causality فالسؤال الآن هل الإنسان يتبول ويتبرز ويعرق لما فى ذلك من فوائد للمحافظة على حياته والإجابة نعم لكن هذا ليس هو سبب التبول أو التبرز أو العرق فالتبرز يأتى كنتيجة لمرور الغذاء بالقناة الهضمية وهضمه وإمتصاصه وإخراج الفضلات كما أن التبول يأتى كنتيجة لترشيح الدم عن طريق الكلية كما أن العرق يأتى كنتيجة لعدة ليات وهى إستقبال الضغط الحرارى والذى ينتج عنه إستجابة مراكز معينة فى المخ مثل الهيبوثالامات Hypothalamus والجهاز العصبى وبالتالى زيادة إفراز الناقل العصبى الأسيتل كولين Acetylcholine والذى يسبب إفراز العرق من الغدد العرقية. ولذلك فهناك أسباب للعرق يكون من نتائجها أن يعرق الإنسان وبعد أن يعرق الإنسان يسبب ذلك فوائد للجسم وهى التخلص من الحرارة الزائدة وبالتالى تحدث حالة الإتزان الداخلى Homeostasis لدرجة حرارة الجسم.

الباب الثاني غشاء الخلية Plasma Membrane

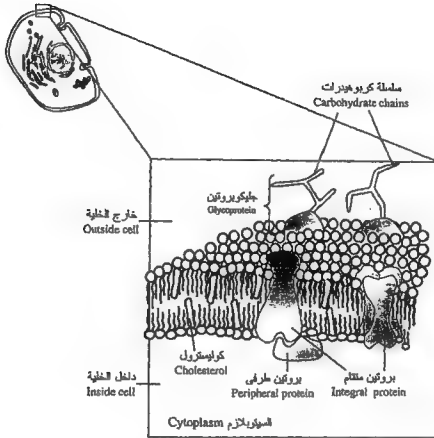
مقدمة : Introduction

الأغشية المغلفة للخلايا Cellular membranes ليست جدر غير حية Inanimate walls ولكنها عبارة عن تركيب ديناميكية معقدة حية وفي حركة مستمرة، وهي تتكون من جزيئات من الليبيدات والبروتينات والبروتين المرتبط بالكربوهيدرات Glycoproteins . وغشاء الخلية يقوم بعزلها عن البيئة المحيطة بها، كما ينظم هذا الغشاء احتياجات تلك الخلية واتصالها بالخلايا المجاورة وتآثرها أيضا بالبرازات للخلايا الأخرى، وبالتالي فهو لازم لاستدامة البيئة الداخلية والمحافظة على التوازن الداخلي لها . بالإضافة إلى ذلك فالمحافظة على استدامة البيئة الداخلية للخلية لازمة لأداء الخلية لمعدي من التفاعلات الكيميائية اللازمة لحياتها، لذا فإن الغشاء الخلوي يساعد على تنظيم ثبات البيئة الدقيقة Microenvironment لدخل وخارج الخلية .

ولغشاء الخلية وظائف عديدة منها أنه المنظم لدخول وخروج المواد من وإلى الخلية، كما أنه سطح منظم لمعدي من التفاعلات الكيميائية، ويستقبل الإشارات الكيميائية القادمة له عن طريق قدم أو من الخلايا المجاورة وغير ذلك كثير من الوظائف التي سوف نتحدث عنها بإذن الله بالتفصيل في هذا السبب، بالإضافة إلى إيضاح علاقة تركيب الغشاء بوظائفه والنظام الغشائي الداخلي Internal Organelles membrane system للذي يتحكم إلى حد كبير في العلاقة بين غشاء الخلية وعضياتها . مع الإشارة إلى أنواع الروابط التي تربط الخلايا ببعضها .

تركيب الأغشية الحيوية: Structure of the Biological Membranes

أغشية الخلايا تتركب من طبقة مزدوجة من الليبيدات Lipid bilayer تتدخل فيها البروتينات، ولول ملاحظة نجدها من الوهلة الأولى عند الفحص بالميكروسكوب الإلكتروني للخلايا المتنوعة لمعدي من الكائنات الحية هي أن هذا الغشاء له تركيب وشكل موحد (متطابق) في جميع خلايا الكائنات الحية كما أن سمكه لا يزيد في أى خلية كائن حي عن ١٠ نانومتر 10 nanometers (حيث أن سمك الغشاء لا يزيد عن جزيئين من الفوسفوليبيدات Phospholipids) (شكل ٢-١) .



شكل ١-٢: دياگرام يوضح تركيب غشاء الخلية البلازمية (وهو نموذج صورة شيء يشبه الصليسان في تركيبه) حيث يتكون من ليبيدات وبيروتيينات وكربوهيدرات ومعظم جزيئات الليبيدات في الغشاء البلازمية عبارة عن فوسفوليبيدات والتي تكون طبقة مزدوجة توجد منتشرة فيها أعداد قليلة من الكوليسترول وجزيئات بروتينية كبيرة الحجم تسمى البيروتيينات المتضمنة ويوجد على الغشاء من الخارج للبيروتيينات السطحية. ويوجد على سطح الغشاء الجليكوليبيدات (كربوهيدرات متصلة مع ليبيدات) والجليكوبروتينات (كربوهيدرات متصلة مع بروتينات) وهذان يمثلان حلقة ميكافوكية للغشاء ، كما يقومان بوظائف التعرف والاتصال الخلوي.

هذا ويتكون الغشاء الخلوي البلازمي (شكل ١-٢) وكل أغشية العضيات الخلوية من طبقة مزدوجة Double layer من الليبيدات (حيث تعتبر للفوسفوليبيدات Phospholipids مكون رئيسي لأغشية الخلايا) . والبرؤوس القطبية (المنقطعة) Polar heads من الطبقة الخارجية من جزيئات

للفوسفوليبيدات تبرز للخارج في اتجاه السائل المائى خارج الخلايا، بينما تبرز الأرووس القطبية من الطبقة الداخلية من الجزيئات إلى الداخل في اتجاه الميثلزالم المائى . أما البروتينات فهى توجد كجزيئات بروتينية كبيرة للحجم تسمى البروتينات المندمجة **Integral proteins** حيث تسبح هذه الجزيئات المندمجة بحرية مثل جبال من الثلج **Icebergs** في بحر من جزيئات الفوسفوليبيدات .

وبعض من هذه البروتينات المندمجة تمتد خلال الغشاء الخلوى من الداخل إلى الخارج بينما نجد أن البعض الآخر يخترق فقط جزء من الغشاء الخلوى . أما البروتينات السطحية **Peripheral proteins** فتوجد على غشاء الخلية من الخارج . كما توجد أيضا منتشرة في طبقة الفوسفوليبيدات المزدوجة أعداد قليلة من جزيئات الكوليسترول **Cholesterol** .

وغشاء الخلية يعمل على فصل الميثلزالم عن البيئة الخارجية للخلية كما يحافظ على وحدة الخلية التركيبية **Structural integrity** (لاحظ أن الخلية تموت عند تمزق الغشاء الخلوى) . كذلك يقوم الغشاء الخلوى **Plasma membrane** بتنظيم مرور الجزيئات والأيونات من وإلى الخلية (إذا يعرف بأن له نفاذية إنتقائية **Selective permeability**) مما يساعد على وجود تركيز دقيق من المواد الكيميائية اللازمة لتقيام الخلية بوظائفها على الوجه الأكمل . كما يلعب الغشاء الخلوى دورا هاما في اتصالات الخلايا ببعضها **Cellular communication** فمثلا تتصل الهرمونات **Hormones** بمستقبلات **Receptors** خاصة على أغشية الخلايا مسببة تغير في تركيب أو وظيفة الخلية، كما أن الخلايا العصبية تتقبض استجابة للتنبضات العصبية **Nerve impulses** التى تصل إلى غشاء الخلية العصبية الخلوى المتصل مع الخلية العصبية . كذلك فإن أغشية الخلية تحمى الجسم من الفيروسات والبكتريا المهاجمة، حيث تتصل هذه الميكروبات مع مستقبلات على أغشية خلايا معينة تتبع الجهاز المناعى **Immune system** لبدأ استجابة تؤدى إلى تدمير هذه الكائنات الغريبة. بالإضافة إلى ذلك فالغشاء الخلوى يعتبر جزء من نظام التمييز الخلوى **Identification System** فكل شخص له بصمة خلوية **Cellular Fingerprint** فريدة، والبروتينات المندمجة هى التى تقوم بتحديد البصمة الخلوية للشخص وهذه البروتينات المدمجة فى غشاء الخلية عبارة عن جليكوبروتينات **Glycoproteins** (لاحظ أن الجليكوبروتين = بروتين + كربوهيدرات) . وبسبب لتفرايع تركيب الجليكوبروتينات فى الغشاء الخلوى لشخص معين فإن الجسم يستطيع تمييز والتعرف على خلاياه . بالإضافة إلى أنه يسمح للجسم بتمييز خلايا الكائنات الحية الأخرى الغريبة التى تشمل البكتريا وكذلك خلايا الأورام إلخ. ولذلك فغشاء التمييز الخلوى هو نظام يوفر الحماية للجسم . وجديد بالذكر هنا

لأنه بالنسبة للإنسان فتقدم استخدام غرس الأنسجة والأعضاء مسبب تحدى خاص للمعلوم الطبية لأن نفس النظام الذى يحمى الإنسان من السرطان والبكتريا والفيروسات يدمر أيضا الأنسجة والأعضاء المغروسة Grafts حيث يعتبر الجهاز المناعى خلايا الأنسجة المغروسة مادة غريبة ويقوم بطردها . ولمنع طرد الأنسجة المغروسة **Graft rejection** يعامل للمرضى بعقاقير تثبط للجهاز المناعى لكن هذا للتثبيط للجهاز المناعى يجعل الشخص أكثر عرضا للعدوى Infection بالبكتريا والفيروسات. هذا وغرس خلايا الأجنة قد يساعد الأطباء في تغادى طرد الأنسجة . حيث وجد العلماء أن خلايا الجنين لم يحدث بها تطور كامل في بصمات الجليكوبروتين لذا فمن الممكن غرسها بدون إحداث تفاعلات مناعية Immune reactions . وغرس خلايا الأجنة يفيد في عدة حالات منها غرس خلايا البنكرياس السليمة من أجنة في حالات مرضى البول السكرى الذين لا يتمكنون من إنتاج هرمون الأنسولين، حيث تقوم خلايا الأجنة بالبقاء في البنكرياس والبدأ في إفراز هرمون الأنسولين وبذا ينتهى اعتماد المريض على الحقن بالأنسولين . كذلك غرس خلايا المخ في مدملى للكحوليات الذين تم شفاؤهم من الإدمان لكن حدث لهم تلف في أنسجة المخ سبب لهم فقدان الذاكرة نتيجة لتناول الكحوليات لسنوات طويلة .

الفوسفوليبيدات تكون طبقة مزدوجة في الماء:

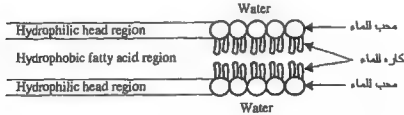
Phospholipids Form Bilayers in Water:

الفوسفوليبيدات تحتوي على حمضين دهنيين مرتبطين بذرتين كربون من الثلاثة ذرات كربون للمكونين لجزئ الجليسرول Glycerol molecule . وسلسلة الأحماض الدهنية تكون الجزء الغير مستقطب Nonpolar أى الغير محب للماء (Hydrophobic (water hating) من جزئ الفوسفوليبيدات، وترتبط ذرة الكربون الثلاثة بشحنة سالبة محبة للماء (Hydrophilic (water-loving) وهى مجموعة الفوسفات والذى بدورها ترتبط بمجموعة عضوية مستقطبة محبة للماء Polar hydrophilic organic group . والجزئيات من هذا النوع والذى لها وجهين وجه محب للماء Hydrophilic ووجه غير محب (كاره) للماء Hydrophobic يطلق عليها Amphipathic molecules وكل الليدات المكونة لأغشية الخلايا لها Amphipathic characteristics . ولأن أحد النهايات لكل جزئ من جزيئات الفوسفوليبيدات يشترك مع الماء (محب للماء) Hydrophilic والنهاية الأخرى فسي الاتجاه المضاد لها لا تحب الماء Hydrophobic فجد أن تكيف هذه الجزيئات وفقا

للحفاظ على السليقة عند وضعها في الماء هو تكون تركيب مزدوج الطبقات Bilayer Structure (شكل ٢-٢) . هذا التركيب يسمح لمجموعة الرؤوس المحبة للماء Hydrophilic head groups لجزيئات الفوسفوليبيدات أن تكون ملتصقة بالوسط المائي Aqueous medium بينما تنوى إلى الداخل (بعيدا عن جزيئات الماء) سلاسل الأحماض الدهنية الغير محبة للماء Hydrophobic fatty acid chain .

تكوين الحويصلات المغلفة : Formation of Closed Vesicles :

الأغشية الحيوية تتلحم لتكون حويصلات مغلفة . فالغشاء الدهني المزدوج (خاصة الموجود في سائل في حالة بلورية Liquid-crystalline state) له خصائص طبيعية هامة فهو يبدأ المقاومة لتكوين نهايات حرة ونتيجة لذلك وتحت ظروف ذاتية فهو يلتف ويلتحم ويسد نفسه ذاتيا (سد ذاتي محكم) ليكون بذلك حويصلات مغلفة Closed vesicles (شكل ٢-٣) .



شكل ٢-٣: دياگرام يوضح تكوين طبقة مزدوجة من الفوسفوليبيدات في الماء . فنجذ أن سلاسل الأحماض الدهنية الغير محبة للماء Hydrophobic fatty acid chains تنوى مع بعضها وبغير معرضة للماء، أما مجموعات رؤوس الفوسفوليبيدات المحبة للماء The hydrophilic phospholipid head groups فلجدها ملتصقة بالوسط المائي .

وسوائل الأغشية الدهنية المزدوجة تكون مرنة حيث تسمح للغشاء بتغيير شكله لينكمسر (يفتح) للخارج أو ينغسل للداخل . وجدير بالذكر أن الأغشية الدهنية المزدوجة Lipid bilayers تحت ظروف معينة يمكنها أن تتحد مع أغشية مزدوجة أخرى .

وللتحام غشاء الخلية ظاهرة غريبة هامة جدا، حيث حينما تتلحم للحويصلة Vesicle مع غشاء آخر يصبح الغشائين المزدوجين متصلين ببعض كما تتكلمج . المكونات الموجودة بداخلهم مع بعضها .

وهذه تسمح بالتالي للمواد الموجودة بأحدهم أن تنتقل للأخر، أو أن تتحرك هذه المواد داخل الحويصلة لتخرج إلى الخارج عن طريق عملية الطرد الخلوي **Exocytosis**، أو كعملية عكسية تنتشئ فيها الطبقة المزودة لغشاء الخلية للدخل حيث تدخل فيها المادة التي سوف تدخل الخلية ويلتف حولها غشاء الخلية المزودج ويلتحم وتتفصل عن الحويصلة **Vesicle** التي تكونت من جزء من الغشاء ويدخلها المادة التي دخلت للخلية (راجع شكل ٢-٣) .

بروتينات الغشاء إما مندمجة أو سطحية:

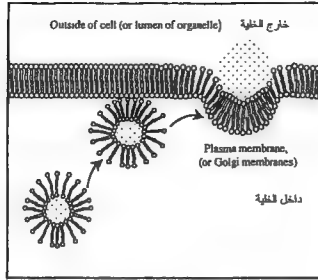
Membrane Proteins May Be Integral or Peripheral:

بروتينات غشاء الخلية تختلف عن بعضها باختلافات كبيرة سواء في الشكل أو مكوناتها . فبعض البروتينات كروية الشكل **Rounded in shape or globular** وهي لها قطر كبير لدرجة أنها لو كانت موجودة على سطح الغشاء لأصبح سمك الغشاء في هذه المنطقة أكثر من ١٠ نانومتر، لكن الدراسات أوضحت أن منطقة أو جزء من جزيء البروتين يوجد على أحد أسطح الغشاء بينما يوجد باقي الجزيء على السطح الآخر المعاكس له، كما أوضحت الدراسات أن بروتينات غشاء الخلية تمتد عبر الغشاء بأكمله إلى داخل الخلية في السيتوبلازم وخارجها في السوائل خارج خلوية **Extra cellular fluids** (أو بمعنى أدق السوائل البين خلوية **Interstitial Fluids**) (شكل ٢-٤) .

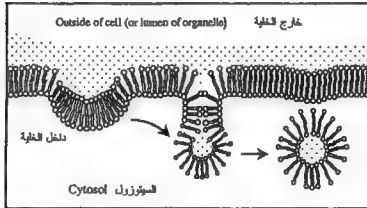
وبروتينات غشاء الخلية تنقسم إلى مجموعتين رئيسيتين حسب طبيعة ارتباطها بالغشاء للدهنى المزودج وهما :-

١- **بروتينات سطحية Peripheral proteins:** وهي بروتينات موجودة على سطح غشاء الخلية يمكن نزعها بسهولة من على الغشاء دون تدمير الغشاء (أي مع بقاء تركيب غشاء الخلية كما هو). وهى غالبا ترتبط بروابط غير تساهمية **Noncovalent bonds** مع الأجزاء السطحية المواجهة لها من البروتينات المندمجة **Integral proteins** .

٢- **بروتينات غشاء الخلية المندمجة : Integral membrane proteins** وهي بروتينات تشترك في تكوين غشاء الخلية نفسه ويمكن فصلها عن الغشاء ولكن بعد تدمير غشاء الخلية المزودج نفسه بواسطة مواد مذيبة **Detergents** . ومعظم السلاسل الببتيدية المكونة للبروتينات المندمجة تتدرج تحت نوعين الأول وهو عبارة عن جزء من الأحماض الأمينية غير محب للماء

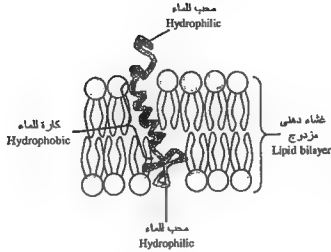


Exocytosis, or endomembrane transport (أ) الطرد الخلوي



Endocytosis, or budding by endomembrane (ب) الابتلاع الخلوي

شكل ٢-٣: نلاحظ أن عملية الابتلاع الخلوي Endocytosis وعملية الطرد الخلوي Exocytosis كسلتي
 للسائل بالحوامض داخل الخلية. والشكل يوضح عملية انتقال الحوامض داخل الخلية كما يتضمن
 الشكل عملية إنتاج الأغشية الدهنية المزدوجة. كما يوضح الشكل العملية التي يتم بها نقل الجزيئات في
 حوامض بين عضيات الخلية Organelles.



شكل ٢-٤: الشكل يوضح جزئ بروتين يمر خلال الغشاء بأكمله ليصبح له أكثر من جزء محبة للماء Hydrophilic حيث يمر من غشاء الخلية إلى السيتوبلازم في داخل الخلية كما أن باقي الجزء يمر من غشاء الخلية إلى السوائل بين خلوية خارج الخلية -ولاحظ أن طرفي جزئ البروتين المواجهين للسيتوبلازم والسوائل خارج خلوية يكونوا محبين للماء ، أما الجزء من جزئ البروتين داخل الغشاء فهو كاره للماء.

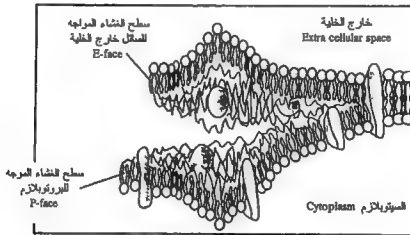
Hydrophobic amino acids وهذا الجزء هو الذي يمر خلال الجزء الداخلي (الغير محبة للماء) للغشاء الدهني المزدوج Hydrophobic interior of the lipid bilayer، أما باقي السلسلة الببتيدية فيمكن أن تمتد خارج الغشاء من الجانبين حيث تكون هذه الإمتدادات (سواء دخلت السيتوبلازم أو في السوائل بين الخلوية) عبارة عن أجزاء محبة للماء Hydrophilic . أما النوع الآخر من البروتينات الملتصقة فهو عبارة عن بروتين مدفون بالكامل داخل الغشاء الدهني المزدوج وهذه السلسلة الببتيدية تمتد إلى الأمام والخلف داخل الغشاء . وكلا النوعين السابقين من البروتينات الملتصقة Integral proteins يطلق عليهما البروتينات الممتدة عبر الغشاء Transmembrane proteins .

بالإضافة إلى ذلك فهناك مجموعة أخرى من البروتينات الملتصقة Integral proteins توجد على جانب واحد فقط من الغشاء سواء للجانب المواجه للسيتوبلازم Cytosol أو الجانب المواجه للسوائل بين الخلوية وهذه المجموعة من البروتينات يكون بها جزء صغير غير محبة للماء

Hydrophobic وهو الجزء من المسلسلة الببتيدية الذي يمكنه دخول الغشاء المزودج أما الجزء المنيقى من المسلسلة الببتيدية والموجود خارج غشاء الخلية فيكون محب للماء Hydrophilic .

Membranes are Asymmetric : عدم تماثل طبقتي الغشاء

طبقتي غشاء الخلية غير متماثلتين فكل طبقة لها بروتينات خاصة بها . هذا وقد أوضحت الدراسات على الميكروسكوب الإلكتروني وجود عدد كبير من الجسيمات Particles على أحد جانبي الغشاء ووجود عدد قليل جداً من هذه الجسيمات على الجانب الآخر من الغشاء (وهذه الجسيمات عبارة عن بروتينات مدمجة Integral proteins) (شكل ٢-٥) مما يعني أن بروتينات الغشاء ليست موزعة بانتظام في طبقتي الغشاء .



شكل ٢-٥: الشكل عبارة عن صورة بالميكروسكوب الإلكتروني توضح عدم تماثل طبقتي الغشاء . يوضح الشكل وجود البروتينات المدمجة على أحد جانبي الغشاء بأعداد كبيرة في حين وجودها بأعداد قليلة على الجانب الآخر .

ويجدر الإشارة هنا أن الكربوهيدرات المرتبطة ببروتين الغشاء تكون مرتبطة بهذه البروتينات من الجانب المواجه للسائل بين الخلوية (أي ترتبط بالجزء من البروتين الموجود على سطح الخلية الخارجي) ولا ترتبط للكربوهيدرات بالجزء من البروتين المواجه للبروتوبلازم .

الوظائف التخصصية لبروتينات غشاء الخلية:

The Specific Functions of Plasma Membrane Proteins:

بروتينات غشاء الخلية تقوم بأداء عدة وظائف إما على الغشاء أو لدخل الغشاء نفسه . فهناك عدد من بروتينات الغشاء تشترك في عملية نقل الجزيئات الصغيرة إلى داخل أو خارج الخلية . كما أن الإنزيمات (لاحظ أن الإنزيمات بروتينات) اللازمة لعمل تعديل Modification في الجزيئات اللازم تواجدها بجوار سطح الخلية نجدها موجودة بكل من طبقتي الغشاء . كما توجد أيضا البروتينات كمستقبلات بروتينية Protein receptors على أغشية الخلايا حيث تعمل هذه البروتينات كمستقبلات متخصصة Specific receptors لحد كبير ومختلف من الرسائل الكيميائية المنظمة Regulatory chemical messengers (لاحظ أن المستقبل في هذه الحالة يكون متخصص للرسول الكيميائي حيث لا يرتبط إلا به وهذا الرسول الكيميائي قد يكون هرمون أو ناقل عصبي ٠٠٠ إلخ) وبالتالي فهذه المستقبلات تتلقى معلومات من الوسط الخارجي للخلية وتنقلها إلى داخل الخلية بالإضافة إلى ذلك فبعض البروتينات المسطحة والبروتينات المدمجة تعمل على ربط خليتين ببعضهما في لكانات عديدة الخلايا كما يمكن أيضا أن تعمل قنوات تصل خليتين ببعضهما حيث تعمل هذه القنوات على نقل الإشارة من الخلية إلى الخلية المجاورة لها وسوف نوضح ذلك بالتفصيل في نهاية هذا الباب بإذن الله .

نقل المعلومات عبر غشاء الخلية :

Information Transfer Across the Plasma Membrane:

هناك بعض الجزيئات مثل الهرمونات والبروتينات وبعض المركبات البيوكيميائية الأخرى تعمل في حالة وجودها في السوائل خارج خلوية كإشارة جزيئية Signal molecule أي أن هذه الإشارة الجزيئية هي عبارة عن أي جزء يعمل كرَسُول كيميائي Chemical messenger . والسؤال الآن هل يمكن لإشارة جزيئية موجودة في السوائل الخارج خلوية Extracellular Fluids (ECF) أن تعبر غشاء الخلية دون عبور الجزيء نفسه أو الرسول الكيميائي نفسه ؟ والإجابة هنا بنعم فهناك آليات نقل الإشارة عن طريق المستقبلات الموجودة على أغشية الخلايا (راجع وسائل الاتصال الخلوي بالباب الخامس).

مرور الجزيئات عبر أغشية الخلايا:

Movement of Molecules Across Cell Membranes:

غشاء الخلية له خاصية النفاذية الانتقائية Selective Permeability ومصطلح خاصية النفاذية الانتقائية هنا يعنى أن غشاء الخلية يسمح لبعض المواد بالمرور من وإلى الخلية دون السماح لمواد أخرى بالمرور (لاحظ أن أى غشاء يسمى منفذ Permeable لمادة معينة إذا كان يسمح لتلك المادة بالمرور من خلاله ويسمى الغشاء غير منفذ Impermeable لمادة معينة إذا كان لا يسمح لتلك المادة بالمرور من خلاله) أما إذا كان الغشاء يسمح لمادة أن تمر من خلاله وفى نفس الوقت لا يسمح لمادة أخرى فيكون هذا للغشاء خاصية النفاذية الانتقائية وهى الخاصية التى توجد فى كل الأغشية الحيوية . كما نعلم من قبل أن غشاء الخلية محاط من الخارج بالموائ خارج خلوية وهذه تتكون من الماء ومكونات أخرى ولتقى يمكن أن تمر من خلاله . أما بالنسبة لمرور جزيئات الماء فبالرغم من أنها مستقطبة ولا تنجذب للدهون أو تمتزج معها إلا أن حجم هذه الجزيئات صغيرة بالدرجة التى تستطيع بها المرور بسهولة من الثغور الفجوية Gaps الموجودة بين الأحماض الدهنية المتعاقبة فى سلسلة الأحماض الدهنية .

أما بالنسبة للغازات مثل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون والنيوتروجين والجزيئات الصغيرة المستقطبة مثل الجلسرول وكذلك الجزيئات الكبيرة الغير مستقطبة مثل المواد الهيدروكربونية Hydrocarbons فجميع هؤلاء يمكن أن يمرروا بسهولة وبحرية تامة عبر غشاء الخلية .

أما بالنسبة للجزيئات الكبيرة نسبيا والمستقطبة مثل الجلوكوز بالإضافة إلى الأيونات حواملات للشحنة بجميع أحجامها فهى لا تمر بحرية خلال غشاء الخلية المزودج إما لكبر حجمها أو أنها ترفض أى تمنع من المرور أوجود شحنات كهربائية Electrical charges على سطح الغشاء .

وجدير بالذكر أن كل الأغشية الحيوية المغلفة سواء للخلية أو النواة أو الميتوكوندريا أو الفجوة Vacuole أو الكلوروبلاست Chloroplasts أو الأغشية المغلفة لباقي عضيات الخلية جميعها لها خاصية النفاذية الانتقائية لمختلف الجزيئات فهى تسمح بدخول وخروج الجزيء الذى نرغبه وبالكمية المطلوبة وترفض دخول جزيئات أخرى أو خروجها . ويمكن أن تسمح أغشية الخلايا لمادة معينة بالدخول فى وقت معين ولا تسمح لنفس المادة بالدخول فى وقت آخر كما سوف يتضح لنا بالتفصيل بإذن الله عند الحديث عن غشاء الخلية العصبية .

مرور المواد عبر أغشية الخلايا:

Movement of Substances Across the Cell Membranes:

تمر المواد عبر أغشية الخلايا بعدة طرق هي الانتشار والإسموزية والنقل للنشط والطرود والإبتلاع الخلوى والإبتلاع عن طريق مستقبل .

١- الانتشار : Diffusion

الانتشار هو عبارة عن عملية طبيعية تعتمد على الحركة العشوائية للجسيمات Random motion of particles حيث تمر بعض المواد من وإلى الخلية عبر غشائها كما تتحرك هذه المواد بين الخلايا عن طريق الانتشار أيضا، والسبب في ذلك أن كل الذرات والجزيئات تحوز على طاقة حركة Energy of motion في درجة حرارة أعلا من الصفر المطلق . فلو أن هناك جسيمات (هذه الجسيمات Particles إما أن تكون ذرات أو أيونات أو جزيئات) ليست موزعة بالتساوى على جانبي الغشاء فينتج عن ذلك ظهور منطقتين على جانبي الغشاء على الأكل ولحده بها تركيز عالى من الجسيمات والأخرى بها تركيز منخفض . والفرق بين التركيز العالى والتركيز المنخفض من مكان لآخر يطلق عليه فرق التركيز Concentration gradient أو هو نسبة لزيادة إلى النقص في التركيز . وفي الظاهرة المسماة بالانتشار فإن الحركة العشوائية للجزيئات تكون من التركيز العالى إلى التركيز الأقل Down their own concentration gradient وهذا لا يعنى أنه لا يوجد مرور للجسيمات من التركيز الأعلى إلى التركيز الأعلى فهذا موجود فعلا، ولكن مرور الجسيمات من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل تكون نسبته أعلا بكثير من المرور من التركيز الأقل إلى التركيز الأعلى .

ومعدل الانتشار The rate of diffusion يقدر عن طريق حركة الجسيمات . وحركة الجسيمات تعتمد بدورها على شكل وحجم هذه الجسيمات وشحنتها الكهربائية ودرجة الحرارة . فمثلا كلما زادت درجة الحرارة كلما كانت حركة الجسيمات سريعة كلما زاد معدل الانتشار .

ويجدر الإشارة أنه عند وجود جسيمات لحد مختلف من المواد في وسط واحد فإن هذه الجسيمات تنتشر بطريقة مستقلة وغير معتمدة على بعضها البعض . وفي حالة عدم إضافة أو نزع جسيمات من النظام فإنه بعد فترة معينة تحدث حالة من التوازن Equilibrium حيث تكون فيها الجسيمات موزعة بطريقة موحدة وعدد الجسيمات التي تمر في اتجاه يكون مساو لحد الجسيمات التي تمر في الاتجاه المعاكس . أما بالنسبة للكائنات الحية عموما فهذا الاتزان لا يتحقق ومثالا لذلك ففي

الإنسان هناك إنتاج مستمر لثاني أكسيد الكربون CO_2 كنتيجة لتكسير السكر في عملية التنفس الهوائي Aerobic respiration داخل الخلية . وفي هذه الحالة يخرج ثاني أكسيد الكربون بسرعة بالانتشار البسيط Simple diffusion عبر غشاء الخلية وبسرعة أيضا يتم انتزاعه عن طريق الدم إلى الرئتين ليتردد من الجسم، وبالتالي لا تكون هناك فرصة لجزيء ثاني أكسيد الكربون للعودة مرة أخرى إلى داخل الخلية . ولذلك يستمر هناك فرق تركيز عالي جدا لثاني أكسيد الكربون على جانبي غشاء الخلية.

٢- الديليز أو الميز الغشائي : Dialysis

وهي مرور المادة المذابة عبر غشاء انتقالي منفذ . ويمكن إيضاح عملية الديليز Dialysis بمثال من الواقع . هب أنك لحضرت كيس من السلوفان ووضعت فيه محلول سكري مركز وربطته من العنق ثم وضعته في كأس مملوء بالماء النقي H_2O وبعد فترة من الزمن سوف تجد أن جزيئات السكر قد مرت من ورق السلوفان إلى الماء النقي . وأساس الديليز Dialysis هذه له عدة تطبيقات عملية منها عملية التصفيل الغشائي الذي يجري للمرضى المصابين بالفشل الكلوي . فالمطاطات الناتجة عن الجسم في صورة جزيئات صغيرة يمكنها المرور بسهولة عبر الغشاء الصناعي لجهاز غسيل الكلى وبالتالي يمكن نزع المخلفات من الدم مع الإبقاء على خلايا وبروتينات الدم والجزيئات الكبيرة بالدم دون انتزاعها .

٣- الإسموزية : Osmosis

هي عبارة عن انتشار الماء عبر غشاء انتقالي منفذ . حيث يمر الماء من خلال غشاء الخلية (غشاء له خاصية لنفاذية الانتقائية Selectively permeable) في الاتجاهين لكن مرور الماء من التركيز الأعلى للماء إلى التركيز الأقل للماء يكون أعلا بكثير من مرور الماء من التركيز الأقل للماء إلى التركيز الأعلى للماء (لاحظ أن هذا مثل كل أنواع الانتشار) وبالتالي فالمحصلة النهائية لحركة الماء هو مروره من المنطقة ذات التركيز العالي من الماء إلى المنطقة ذات التركيز المنخفض من الماء . أما معظم جزيئات المادة المذابة فلا يمكنها الانتشار بحرية خلال غشاء الخلية ذات النفاذية الانتقائية .

الضغط الإسموزي : Osmotic Pressure الضغط الإسموزي لمحلول يمكن تعريفه على أنه ميل جزيئات الماء أن تتحرك لتدخل لهذا المحلول عن طريق الخاصية الإسموزية . ولإيضاح ذلك نعود إلى

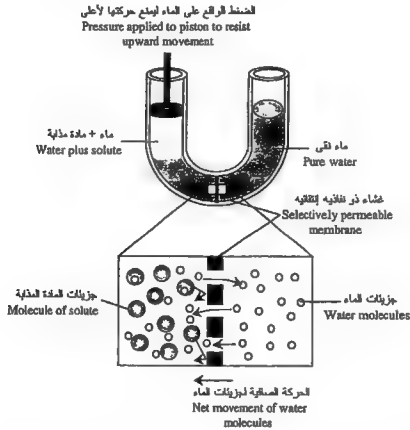
لنفس الخاصية الإسموزية والذي يمكن إيضاحه عن طريق جهاز يسمى أنبوبة M (M-tube) (شكل ٦-٢) .

وهذه الأنبوبة (الجهاز) منقسمة إلى قسمين يفصل بينهما غشاء ذات نفاذية انتقائية فلو وضعنا ماء نقي في الجانب الأيمن ، ومطول (ماء + مادة مذابة قد تكون سكر أو ملح) في الجانب الأيسر فإن هذا الغشاء سوف يسمح للماء بالمرور بحرية على جانبي الغشاء ولا يسمح لجزيئات المادة المذابة بالمرور إلى الاتجاه الأيمن (تلحية الماء النقي) .

ولأن هناك فرق في تركيز الماء بين جانبي الأنبوبة ، فالجانب الذي يحتوى على المادة المذابة في الماء له فاعلية أقل للتركيز الماء من الجانب المحتوى على الماء النقي . فبالنتيجة سوف يكون هناك مندرج صافى من الماء يتحرك من جانب الماء النقي ليصل إلى الجانب الأيسر وهو جانب المحلول . ولو وضعنا كبس فوق المحلول (شكل ٦-٢) فإن القوة اللازمة للكبس لمنع أى زيادة في المحلول (عن طريق الخاصية الإسموزية) تكون مساوية للضغط الإسموزي للمحلول The osmotic pressure of the solution ولا يستخدم هذا الجهاز نجد أنه كلما زاد تركيز المادة المذابة في المحلول كلما قل تركيز الماء الفعال فيه Effective water concentration كلما زاد الضغط الإسموزي له وعلى العكس كلما قل تركيز المادة المذابة في المحلول كلما زاد تركيز الماء الفعال به كلما قل الضغط الإسموزي Osmotic pressure له .

ولو طبقنا ما سبق على الخلايا الحية فنجد أن الخلية الحية يفصلها عن الوسط الخارجي غشاء خلوية وبالتالي نجد هناك سوائل على جانبي الغشاء هما السائل داخل خلوى Intracellular fluid والسائل خارج خلوى Extracellular fluid وبالتالي فممكن أن تكون للسوائل داخل وخارج الخلية متساوية التوتر Isotonic لبعضها أو ممكن أن تكون أحدهما زائدة التوتر (التركيز) نسبيا Hypertonic والآخر نقص التوتر نسبيا Hypotonic . ولإيضاح ذلك فالسوائل الموجودة بالكائن الحي مذاب فيها سكر وألاح ومواد أخرى وهذا يعطى لهذه السوائل ضغط إسموزي معين . وعند وضع خلية في محلول له نفس الضغط الإسموزي فإن نجد حركة لجزيئات الماء سواء إلى داخل أو إلى خارج الخلية وذلك لا تنكشف أو تنتفخ الخلية لذلك يطلق على هذا المحلول متساوي التوتر Isotonic أو متساوي الإسموزية أى له نفس الضغط الإسموزي Osmotic pressure للسوائل داخل الخلية . وهذه الظاهرة موجودة في الإنسان فبلازما الدم والسوائل خارج خلوية جميعها متساوية التوتر Isotonic للسوائل داخل خلايا الجسم فهي تحتوى على تركيز الماء مساو لتركيز الماء

دخل الخلية ولذلك فالمحلول الذي يحتوي على ٠.٩% كلوريد صوديوم يطلق عليه **Physiological saline or saline solution** لأنه متساوي التوتر Isotonic مع السوائل داخل خلايا جسم الإنسان وبعض الحيوانات الأخرى ولذلك فعد وضع كريات الدم الحمراء في هذا المحلول تبقى كما هي دون إنكماش أو انتفاخ .



شكل ٢-٦: الأبيرية M توضع لئلاص صلبة الإسموزية فالأبيرية M تحتوي على ماء في الجانب الأيمن وعلى ماء به مادة مذابة في الجانب الأيسر ويفصل بينهما غشاء ذات نفاذية انتقائية . ويتضح من الشكل أن جزيئات الماء يمكنها الانتقال عبر الغشاء في كلا الاتجاهين بينما لا تتمكن جزيئات المادة المذابة من عبور الغشاء . ولذلك فالمحلول يزداد في الجانب الأيسر . وبالتالي فالقوة المعترضة أن تعطي للكائن حتى تتكافى أي زيادة في الجانب الأيسر (المحلول) هي مساوية للضغط الإسموزي المحلول .

أما لو احتوى المحلول خارج الخلية على تركيز أعلا من المادة المذابة عن تلك الموجودة في الخلية فيطلق على هذا المحلول زائد التوتر **Hypertonic or hyperosmotic** أي له ضغط

إسموزى أعلا من المسائل لدخل الخلية . ولأن المحلول زائد التوتر Hypertonic له تركيز ماء فعال قليل لذلك لو وضعت فيه الخلية يحدث لها إنكماش وذلك بسبب فقدان الماء بواسطة الخاصية الإسموزية ومثال لذلك فعند وضع كريات الدم الحمراء في محلول تركيزه ١,٣% كلوريد صوديوم يحدث لها انكماش وتصبح مسننة Cremated .

أما لو كان المسائل المحيط بالخلية له تركيز مادة مذابة أقل من تلك الموجودة بالخلية وبذلك يكون له ضغط إسموزى أقل من الضغط الإسموزى لدخل الخلية فيطلق عليه في هذه الحالة ناقص التوتر Hypotonic or hypoosmotic بالنسبة للخلية ولذلك ففي هذه الحالة يدخل الماء داخل الخلية بالخاصية الإسموزية Osmosis وتتفخخ بذلك الخلية . ومثال ذلك عند وضع كريات الدم الحمراء في محلول ٠,٦% كلوريد الصوديوم فيدخل الماء داخل كريات الدم الحمراء بالخاصية الإسموزية وتتفخخ ويمكن أن تنفجر هذه الكريات Burst هذه الكريات .

٤ - الانتشار المسهل (التسهيلى) : Facilitated Diffusion :

الانتشار المسهل يحدث من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل ويتدفقه قوة فرق التركيز والفرق بينه وبين الانتشار البسيط Simple diffusion هو أن الانتشار المسهل يستخدم فيه حامل بروتينى أما القوة المستخدمة في النقل فهي قوة فرق التركيز في الحالتين . ولذلك ففي كل الحالات التي نمر فيها المواد عبر غشاء الخلية بواسطة الـ Passive diffusion نجد أن صفلى النقل لهذه الجزيئات من جانب إلى جانب آخر يحدث كنتيجة لقوة فرق التركيز Concentration gradient . هذا ويمكن إثبات أن فرق التركيز يحدث كنتيجة لعمليات معينة تحدث في الخلية . فالطاقة المخزنة Stored energy لفرق التركيز تتركز عندما تتحرك الجزيئات من التركيز الأعلى إلى التركيز المنخفض وبالتالي فهذه الحركة للجزيئات هي حركة ذاتية.

وفى نموذج النقل المعروف باسم الانتشار المسهل أو التسهيلى Facilitated diffusion فإن غشاء الخلية ممكن أن يكون منفذ لمادة مذابة مثل الأيون أو الجزيئات المستقطبة لكن بواسطة ناقل متخصص أو بروتين ناقل Specific carrier or transport protein والذي يتحد وقتياً مع جسيمات المادة المذابة ويسمح لها بالمرور خلال الغشاء (شكل ٢-٧) . ويجب ملاحظة أن لبروتين الحامل لا يتغير كنتيجة لعمله على نقل المادة المذابة، فيبد نقله لجسيم مادة مذابة يكون حر وقابل للارتباط بآخر . وأهم مثال للانتشار التسهيلى هو دخول الجلوكوز خلايا الدم الحمراء . فكريات الدم الحمراء تحافظ دائماً على تركيز منخفض من الجلوكوز بدخلها حيث عندما يدخل الجلوكوز تقوم في الحال

بربطه بمجموعة فوسفات وتحوله إلى جلوكوز مرتبط بالفوسفات على الشحنة Highly charged glucose phosphate وبذلك لا يمكنه العودة مرة أخرى خارج خلية الدم الحمراء كما أنه أصبح جزءاً مختلف عن الجلوكوز وبذلك فهو لا يمثل في فرق تركيز الجلوكوز داخل وخارج الخلية، وبالتالي تستمر قوة فرق التركيز أى يستمر تركيز الجلوكوز على خارج كريات الدم الحمراء ومنخفض داخلها وهذا يسبب دخول الجلوكوز بسرعة إلى داخل كريات الدم الحمراء وبعد دخوله مباشرة يتم ربطه بمجموعة فوسفات ليتحول إلى الصورة المفسفرة Phosphorylated form .

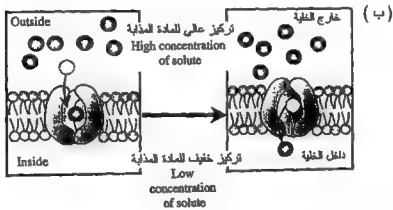
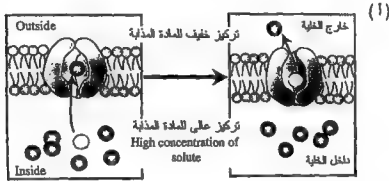
٥- النقل النشط : Active Transport

في بعض الأحيان تحتاج الخلية أن تنقل مواد مذابة عبر غشائها ولكن ضد اتجاه التركيز . فبعض المواد التي تحتاجها الخلية يكون تركيزها بالخلية أعلا من خارجها ولذلك يتم نقل هذه الجزيئات بواسطة آليات النقل النشط التي يتوسطها حامل بروتيني Carrier mediated active transport mechanisms . وللنقل النشط Active transport ثلاث خصائص هي : ١- النقل فيه يتم ضد اتجاه التركيز ٢- يحتاج إلى حامل بروتيني ٣- يحتاج إلى طاقة في صورة ATP .

ولذلك فالنقل النشط يختلف عن الانتشار التسهيلي في صورة الطاقة التي يستخدمها لنقل المواد ضد اتجاه التركيز أى نقل المواد عبر الغشاء من التركيز المنخفض إلى التركيز العالي . ولأن عمليات النقل النشط تنقل الجزيئات ضد اتجاه التركيز لذا فهي تعرف دائماً بالمضخات Pumps . ويجب أن نتذكر أن عملية الانتشار Diffusion للأيونات عبر غشاء الخلية تتم تحت تأثير قوتين هما الفرق في الشحنت الكهربية وفرق التركيز، وبالتالي فالنقل النشط للأيونات يمكن أن ينقل الأيونات ضد الفرق الكيمياء الكهربية Electrochemical difference ولتسهيل مناقشة الموضوع فسوف نركز مناقشتنا فقط على التركيز ونضيف على هذه المناقشة الفرق الكهربى Electrical difference عندما تكون المادة المنقلة أيونات .

ومثل الانتشار التسهيلي فالنقل النشط لمادة عبر غشاء الخلية يحتاج إلى الارتباط ببروتين ناقل في غشاء الخلية حيث يظهر هذا البروتين الناقل تخصصيه كيميائية للارتباط بهذه المادة ويكون تكافؤ هذه المادة عبر الغشاء لكصاه عندما تكون مواقع الارتباط على البروتين الناقل مشغولة كلها . (نذكر أنه في الانتشار التسهيلي عندما تكون تركيز المادة على جانبي الغشاء متساوي فإن كمية المادة التي تعبر الغشاء في أى اتجاه تساوى نفس الكمية في الاتجاه المضاد وبالتالي لا يحدث تغير في تركيز المادة على جانبي الغشاء) . أما بالنسبة للنقل النشط فيعتمد النقل عبر الغشاء إلى داخل الخلية بالرغم

من وصول تركيز المادة المنقولة لدخل الخلية إلى تركيز أعلا منه خارجها . ونفس الشيء يمكن أن يحدث عكسيا ونفس الآليات بأن يتم النقل النشط من التركيز الأقل لدخل الخلية إلى التركيز الأعلى خارجها (في السوائل خارج خلوية) . أي أن هناك نقل نشط إلى داخل الخلية وأيضا هناك نقل نشط إلى خارج الخلية وسوف نوضح الاثنين معا بإذن الله عند الحديث عن مضخة الصوديوم والبرتاسيوم .



شكل ٧-٧: الشكل يوضح أن الانتشار التسهيل أو المسهل يحتاج إلى بروتين دافع أو حامل في الغشاء جنباً إلى جنب مع الطاقة الكامنة للفرق التركيز .

والطاقة اللازمة للنقل النشط تؤخذ أساساً من عمليات الأيض Metabolism ، فلو أن هناك تثبيط لعملية إنتاج ATP فسوف تعطل الخلية في عملية النقل النشط هذه . ولكي تتمكن الخلية من نقل الجزيئات من التركيز المنخفض (حالة طاقة أقل) إلى التركيز المرتفع (حالة طاقة أعلا) فلا بد من إضافة طاقة . ولذلك فالنقل النشط يتحرك (يتنقل) مع وجود مصدر للطاقة . ولتتفرغ الطاقة

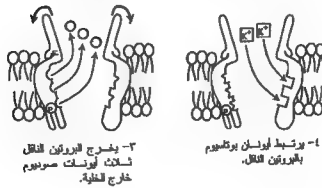
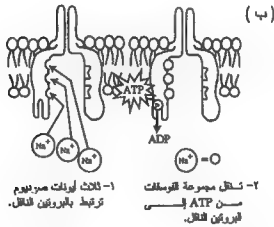
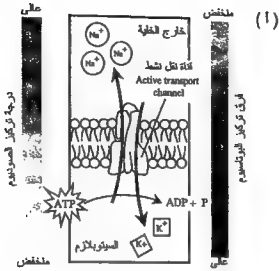
للبروتينات الناقل يتم بطريقتين: الأولى: وهي الاستخدام المباشر لحامل الطاقة ATP في عملية تسمى النقل النشط الأولي Primary active transport والثانية: وهي استخدام لاختلاف تركيز الأيون عبر الغشاء لتقود عملية النقل النشط الثانوي Secondary active transport .

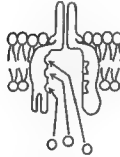
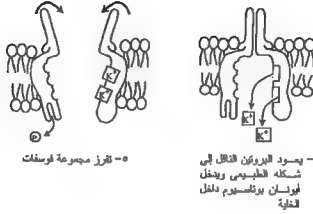
أ- النقل للنشط الأولي : Primary Active-Transport

تحل حامل الطاقة ATP بواسطة البروتين الحامل إلى $Pi + ADP$ يوفر الطاقة اللازمة للنقل للنشط الأولي بواسطة هذا البروتين الحامل . والبروتين الحامل هنا يكون إنزيم ATPase والذي يحفز تكسير حامل الطاقة ATP وفي نفس العملية يفسر نفسه Phosphorylates itself . وفي هذه الحالة فالإنزيم ولحد المواد التي يعمل عليها مما نص الجزئ . وعملية الفسفرة للبروتين الناقل تؤدي إلى أحد أمرين هما: ١- تفسير في لغة Affinity موقع الربط أو ٢- تغير في معدلات تغير الشكل أو الانطباق أو للتكيف . وفي أي من الحالتين تنشأ حالة من الالتصاق في حركة المادة المنقلة عبر الغشاء . ويجب أن نتذكر هنا أن هذا يغير مثال للـ Covalent modulation والتي هي أحد طرق تنظيم خصائص موقع الارتباط على البروتين حيث فسفرة البروتين تغير من خصائصه .

وهناك أربعة أنظمة النقل للنشط الأولي المستخدم فيه البروتينات Four primary active transport proteins كل واحد منهم يتولى على إنزيم ATPase ويشارك في نقل الأيونات وهم: ١- مضخة نقل أيونات الصوديوم والبوتاسيوم في وقت واحد (Na,K-ATPase pump) ٢- مضخة نقل أيونات الكالسيوم (Ca - ATPase pump) ٣- مضخة نقل أيونات الهيدروجين (H-ATPase pump) ٤- مضخة نقل أيونات الهيدروجين والبوتاسيوم (H,K-ATPase pump) .

وسوف نتحدث عن مضخة الصوديوم والبوتاسيوم كمثال (الشكل ٨-٢) لأنها موجودة في كل الخلايا . ونشاط نظام النقل هذا يرجع إلى خصائص توزيع الصوديوم والبوتاسيوم داخل الخلايا توجد كميات كبيرة من البوتاسيوم وكميات قليلة من الصوديوم بالنسبة لتركيزاتهم خارج الخلايا (أي تتمكن النسبة بحيث تصبح كميات كبيرة من الصوديوم وكميات قليلة من البوتاسيوم خارج الخلايا بالنسبة لتركيزاتهم داخل الخلايا) . وشكل (٨-٢) يوضح أن تحلل جزئ واحد ATP يؤدي إلى قيام الحامل البروتيني بإخراج ثلاثة أيونات صوديوم إلى خارج الخلية وإدخال عدد اثنين أيون بوتاسيوم إلى داخل الخلية .



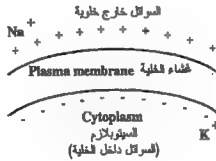


شكل ٢-٨: الشكل يوضح مضخة الصوديوم والبوتاسيوم ك نموذج لاستخدام ATP كمصدر للطاقة في عملية النقل للنشط . فلشكل (أ) يوضح أن تحول ATP إلى ADP ينتج عنه نقل ٣ أيونات صوديوم إلى خارج الخلية وعدد لثلاثين أيون بوتاسيوم إلى داخل الخلية أما الشكل (ب) فيوضح السبع خطوات في دورة نقل الصوديوم والبوتاسيوم .

ومضخة للصوديوم والبوتاسيوم عبارة عن مجموعة من البروتينات الخاصة موجودة في غشاء الخلية، وتقوم هذه البروتينات باستخدام الطاقة الموجودة في صورة ATP لتعمل لتبادل حيث تخرج أيونات الصوديوم من داخل الخلية إلى خارجها وتدخل أيونات البوتاسيوم من خارج الخلية إلى داخلها، وكما ذكرنا من قبل فهذا التبادل غير متساوي في عدد الأيونات مما يؤدي إلى فرق تركيز خاص في عدد الأيونات مما يؤدي إلى وجود فصل في الشحنات الكهربائية وهو ما يسمى بالجهد الكهربائي

Electrical potential وطالما وجد فرق شحنات كهربية عبر غشاء الخلية فيصبح الغشاء في هذه الحالة مستقطب **Polarized** .

وكلا من أيوني الصوديوم والبوتاسيوم موجب الشحنة ولكن نظراً لأن أيون البوتاسيوم موجد بتركيزات قليلة داخل الخلية بالنسبة لأيون الصوديوم الموجود خارجها ونظراً لأن معظم الجزيئات العضوية الكبيرة الموجودة داخل الخلية سالبة الشحنة فنجد أن توزيع الشحنات على جانبي غشاء الخلية يكون سالب على الجانب الداخلي من الغشاء الموجه للميتوبلازم وموجب على الجانب الخارجى من الغشاء الموجه للسوائل خارج خلوية (شكل ٩-٢) .



شكل ٩-٢: الشكل يوضح توزيع الشحنات على جانبي غشاء خلية صلبة حيث يكون ذلك فرق جهد كهربى يعادل ٧٠- مليفولت أثناء جهد النشاء وقت الراحة **Resting membrane potential** .

وبالتالى فهذا الفرق يطلق عليه فرق كيميائى كهربى **Electrochemical gradient** وذلك لأنه بالإضافة لاحتوائه على فرق تركيز في الأيونات فهو أيضاً يشمل فرق تركيز الشحنات . هذا الفرق في الشحنات هو عبارة عن صورة من صور الطاقة المخزنة مثل الماء المحجوز خلف سد حيث يمكن استخدام هذه الطاقة لتسهيل نظم نقل أخرى . ولكى نتصور مدى أهمية هذا الفرق في الشحنات يكفى أن نعلم أن بعض الخلايا مثل الخلية العصبية تبذل ٧٠% من الكمية الكلية للطاقة فقط لتحافظ على نظام النقل النشط للصوديوم والبوتاسيوم (شكل ٩-٢) .

ومضخة الصوديوم والبوتاسيوم (مثل أى مضخة أخرى يستخدم فيها ATP كمصدر للطاقة) هى عبارة عن بروتينات حليرة **Transmembrane proteins** تمتد من خارج غشاء الخلية إلى داخلها (راجع بروتينات الغشاء في هذا الباب) .

لما بالنسبة لمضخة الكالسيوم Ca-ATPase pump فهي توجد في غشاء الخلية وأغشية بعض عضيات الخلية ومنها الشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic reticulum والميتوكوندريا Mitochondria . وبالنسبة للكالسيوم فمعموما هو يمتص بالنقل النشط من السيتوزول Cytosol إلى السوائل خارج خلوية ومن السيتوزول أيضا إلى الفراغ Lumen الموجود داخل العضيات .

لما بالنسبة لمضخة الهيدروجين The H-ATPase pump فهي موجودة في غشاء الخلية وفي عديد من أغشية عضيات الخلية ومنها الغشاء الداخلي للميتوكوندريا The inner mitochondrial membrane وغشاء الليسوسوم Lysosomal membrane . وفي غشاء الخلية يقوم للنقل النشط بنقل الهيدروجين خارج الخلية .

لما بالنسبة لمضخة الهيدروجين واليوتاسيوم H,K-ATPase pump فهي موجودة في بعض الخلايا في غشاء الخلية حيث تقوم بضخ الهيدروجين إلى خارج الخلايا وضخ اليوتاسيوم إلى داخل الخلايا . وهذا النوع من النقل النشط هو المسؤول عن إمرار حمض الهيدروكلوريك HCl بواسطة المعدة .

والمستخدم الجهد الكيمياء الكهربية Electrochemical potential في تخزين الطاقة يحدث في النبات والطحالب أيضا . فخلايا النبات والطحالب تستخدم ATP-driven plasma membrane pumps للنقل البروتونات من سيتوبلازم الخلية إلى خارجها . والمعروف أن البروتون موجب للشحنة ونقل البروتونات من داخل الخلية إلى خارجها يجعل هناك فرق كبير في تركيز البروتونات على جانبي الغشاء وبالتالي تكون هناك شحنات موجبة خارج الخلية وأخرى سالبة داخل الخلية والطاقة المخزنة في هذا الفرق الكهروكيميائي (الكيميائي الكهربي) يكون مؤسرا لاستخدامه في أي نشاط من أنشطة الخلية .

ب- النقل النشط الثانوي : Secondary Active Transport

لنقل النشط الثانوي يميز أو يختلف عن النقل النشط الأولي في مصدر الطاقة المستخدمة في كلا منهما ، فبالنقل النشط الأولي يستخدم حامل الطاقة ATP كمصدر للطاقة أما بالنقل النشط الثانوي فيستخدم فرق تركيز الأيونات عبر غشاء الخلية كمصدر للطاقة . فتتدفق الأيونات من التركيز العالي (حالة الطاقة العالية) إلى التركيز المنخفض (حالة الطاقة المنخفضة) يوفر طاقة لسهولة النقل للنشط للمادة الغذائية (لاحظ أن المادة الغذائية يمكن أن تكون حمض أميني على سبيل المثال) . ومن الانتشار التسهلي والنقل النشط الأولي فإن النقل النشط الثانوي يحتاج إلى ربط المادة الغذائية (حمض أميني

مثلا) بروتين ناقل والذي له خصائص معينة ومنها التخصصية والألفة ومعدل النقل الأقصى المحدود تبعاً لتتبع البروتين الناقل بالمادة المذبذبة التي ينقلها .

وارتباط الأيون ببروتين الناقل للنشاط التثاقلي يسبب إحداث نص أنواع للتغيرات التي تحدث في بروتين الناقل للنشاط الأولي وهي : ١- أنه يغير ألفة Affinity موقع للربط الذي يسبقه بربط المادة للمذبذبة المنقولة ٢- يغير من معدل حركة البروتين الناقل والذي يقوم بتحريك موقع الربط من أحد جوانب الغشاء إلى الجانب الآخر .

ويجدر الإشارة أنه في حالة النقل للنشاط الأولي فإن البروتين الناقل يتغير كنتيجة للـ Covalent modulation الناتجة من ربط البروتين الناقل بمجموعة فوسفات برابطة تساهمية (لاحظ أن مجموعة الفوسفات تؤخذ من حامل الطاقة ATP وتعلق للبروتين الناقل)، أما في حالة النقل للنشاط التثاقلي فيسبب تغير البروتين الناقل يكون من خلال الـ Allosteric modulation كنتيجة للارتباط الأيوني Ion binding .

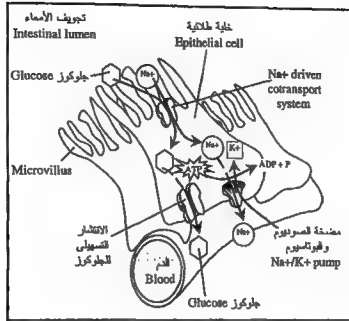
ويجدر الإشارة أيضا أن هناك علاقة غير مباشرة هامة جدا بين النقل للنشاط التثاقلي الذي يستخدم الصوديوم وبين النقل للنشاط الأولي الذي ينقل الصوديوم وإلبيوتاسيوم The Na,K-ATPase. ولإيضاح هذه العلاقة الغير مباشرة يجب أن نتذكر أن النقل للنشاط الأولي يجعل تركيز الصوديوم داخل الخلية أقل بكثير عن تركيزه خارجها ، وبسبب نقص تركيز الصوديوم داخل الخلية نجد أن عدد قليل من مواقع الربط من بروتين سطح الغشاء الدخلى في النقل للنشاط التثاقلي مشغول بالصوديوم وبالتالي فخصائص هذا البروتين الناقل سوف تختلف بين سطح الغشاء الدخلى و سطح الغشاء الخارجى معتمدة في ذلك على وجود أيون الصوديوم من عدمه . وهذا الاختلاف يوفر قواعد للاتماثل في تكلف النقل الذي يؤدي إلى تحرك شاق أو مرتقى (ضد اتجاه التركيز) للمادة المذبذبة المنقولة . وفي نفس الوقت فإن أيونات الصوديوم المرتبطة بالبروتين الناقل في الجانب لمعالجه للسوائل خارج خلية تستحرك بالحداد إلى داخل الخلية عندما يقوم البروتين الناقل بعملية تغيير لتطابقه أو تكيفه Its conformational change .

وخلاصة القول أن وجود اختلاف في تركيز الصوديوم عبر غشاء الخلية والذي نتج عن طريق النقل للنشاط الأولي للصوديوم هو وسيلة غير مباشرة لتخزين طاقة يمكن استخدامها لتشغيل مضخة النقل للنشاط التثاقلي .

نظم النقل المتعددة : Multiple Transport Systems

نظم النقل المتعددة تتكامل مع بعضها وتستخدم الارتباط الغير مباشر بين النقل النشط والانتشار للتسهيل . ففى بعض الخلايا يستخدم أكثر من نظام نقل لنقل مادة واحدة . فعلى مئيل المثال نقل الجلوكوز من تجويف الأمعاء إلى الدم يحدث من خلال طبقة رقيقة من الخلايا الطلائية والتي تبطن الأمعاء والتي بها مواقع عالية التخصص على أغشية خلاياها . وسطح هذه الخلايا المعرضة لتجويف الأمعاء يتميز بوجود عديد من الخملات الدقيقة Microvilli (وهى عبارة عن إمتدادات تشبه الأصابع) وهذه الخملات تزيد من مساحة سطح الغشاء القابل للاتصال . والبروتين الناقل للجلوكوز فى هذا الموقع على سطح غشاء الخلية هو جزء من نظام النقل النشط للجلوكوز Active transport system for glucose والذي يعمل عن طريق النقل المعاون للصوديوم Cotransport of sodium (شكل ١٠-٢) . فكما ذكرنا من قبل فتركيز الصوديوم داخل الخلية يظل منخفض كنتيجة لعمل مضخة الصوديوم والپوتاسيوم Na,K-ATPase pump والتي تعمل على ضخ الصوديوم خارج الخلية إلى الدم . ولذلك فالنقل النشط للجلوكوز يتم عن طريق نشاط نظام نقل معاون لأيون الصوديوم وهذا النظام موجود فقط على جزء من سطح الخلية الطلائية المولجه لتجويف الأمعاء . ولذلك فعند دخول أيون الصوديوم من تجويف الأمعاء إلى داخل الخلية الطلائية يدخل معه الجلوكوز . وبعد دخول الجلوكوز إلى داخل الخلايا الطلائية بالأمعاء يكون تركيزه أعلا نسبيا عن تركيزه فى الدم ولذلك فهو ينتقل بالانتشار للتسهيل Facilitated diffusion من داخل الخلايا الطلائية إلى الدم . وبالتالي فالجلوكوز هنا ينتقل من تجويف الأمعاء إلى الدم عبر الخلايا الطلائية على مرحلتين كل مرحلة منهما تمت بطريقة نقل مختلفة، فالمرحلة الأولى وهى دخوله من تجويف الأمعاء إلى داخل الخلايا الطلائية بالنقل النشط للجلوكوز .والذى يعمل بالتكامل مع نشاط نظام نقل معاون لأيون الصوديوم موجود على جزء من غشاء الخلية مولجه لتجويف الأمعاء (شكل ١٠-٢) .

لما المرحلة الثانية فهى إنتقال للجلوكوز من داخل الخلايا الطلائية إلى الدم عن طريق الانتشار للتسهيل Facilitated diffusion وذلك حيث أن تركيز الجلوكوز داخل الخلايا الطلائية أصبح أعلا نسبيا من تركيزه فى الدم .



شكل ٦-١: الشكل يوضح تكامل أنظمة النقل المتحددة التي تسمح للجلكوز أن ينتقل من تجويف الأمعاء إلى الدم من خلال الخلايا الظلائية المبطنة للأمعاء . فالجلكوز ينتقل من تجويف الأمعاء إلى داخل الخلايا الظلائية عن طريق النقل النشط والسبب لهذا النقل النشط هو نظام نقل معون موجود فقط على جزء من سطح الخلايا الظلائية المولجه لتجوير الأمعاء . فهناك فرق في تركيز أيونات الصوديوم حيث يدخل داخل الخلايا أقل بكثير من خارجها حيث يدفع باستمرار عن طريق مضخة الصوديوم وفلوتيسيوم إلى الدم . وللتقل النشط للجلكوز من تجويف الأمعاء إلى داخل الخلايا الظلائية يجعل تركيزه أصلاً داخل خلايا من الدم وبالتالي فهو ينتقل مرة أخرى عن طريق الانتشار للتسهيل من داخل الخلايا الظلائية إلى الدم .

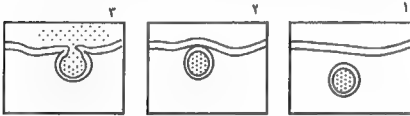
٦- الابتلاع والطراد الخلوي : Endocytosis and Exocytosis

في عملية الابتلاع والطراد الخلوي يحدث نقل للجسيمات الكبيرة Large particles عبر غشاء الخلوية بواسطة الحويصلات Vesicles أو الفجوات Vacuoles . فبعد فحص الخلية تحت الميكروسكوب العادي نجد هناك مناطق من غشاء الخلية منتبهة إلى داخل الخلية ومكونة حويصلة داخل الخلوية Intracellular membrane-bound vesicle والتي تحترق بداخلها على جزء ضئيل من السوائل خارج خلوية وهذه العملية تسمى الابتلاع الخلوي Endocytosis . ونفس هذه العملية تحدث

في الاتجاه المضاد وتسمى الطرد الخلوي **Exocytosis** والذي يحدث عندما تلتحم الحويصلة المغلفة بغشاء Membrane-bound vesicle بغشاء الخلية وتفتح لتفرز محتوياتها إلى خارج الخلية .

الطرد الخلوي : Exocytosis

في حالة الطرد الخلوي تقوم الخلية بطرد أو تذف المخلفات المنتجة بداخلها Waste products أو إنسرازمات معينة أنتجتها الخلية مثل الهرمونات وذلك عن طريق التحام الحويصلة المحتوية على المادة التي سوف تفرزها الخلية مع غشاء الخلية (شكل ٢-١١) وبالتالي تحدث في هذه الحالة عمليات في وقت واحد الأولى وهي إمتصاص (إضافة) غشاء الحويصلة إلى غشاء الخلية والثانية هي إفراز المادة التي كانت موجودة داخل الحويصلة . وجدير بالذكر أيضا أن هذه تعتبر آلية أولى Primary mechanism والتي يمكن بها أن ينمو غشاء الخلية بدرجة أكبر .



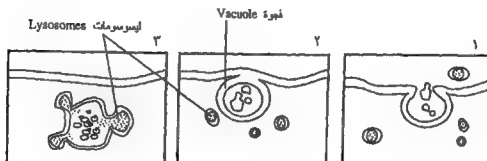
شكل ٢-١١ : الشكل يوضح أن صلية الطرد الخلوي Exocytosis عبارة عن التحام الغشاء المغلف الحويصلة مع غشاء الخلية وهذه هي الطريقة التي يتم بها طرد الجسيمات الكبيرة خارج الخلية. والشكل عبارة عن رسم تخطيطي يوضح أنه عند وصول الحويصلة المنقطة إلى غشاء الخلية فهي تلتحم به وتفتح للخارج ليتم طرد ما بداخل الحويصلة من جزيئات.

الابتلاع الخلوي : Endocytosis

. والابتلاع الخلوي معناه دخول المواد داخل الخلية في عملية عكسية للطرد الخلوي (شكل ٢-١٢) . وهناك عدة أنواع من آليات الابتلاع الخلوي Endocytotic mechanisms . فالصورة الأولى من هذه الآليات هي عملية الابتهاام Phagocytosis ويطلق عليها أيضا أن الخلية تكلل Cell-eating وفي هذه العملية فإن الخلية تغتف بداخلها جسيمات صلبة مثل البكتيريا أو الغذاء . ومن أمثلة الابتهاام الخلوي Phagocytosis هذه هي ما يحدث عندما تقوم خلايا الدم البيضاء White blood

cells بالتهايم جسيمة غريبة ضارة بعضها يمكن أن يكون كبير لدرجة أنها تستطيع التهام خلية بكتيرية بأكملها وتضعها داخل حويصلة (شكل ١٢-٢) حيث تدخل هذه الحويصلة إلى الخلية وتلتحم مع الليسوسوم الأولي Primary lysosome حيث تندمج محتويات الليسوسوم مع محتويات الحويصلة ويسمى في هذه الحالة بالليسوسوم الثانوي Secondary lysosome وبالتالي تقوم الأنزيمات الهاضمة الموجودة بالليسوسوم بهضم هذه الخلية البكتيرية أو أي مادة ضارة دخلت الخلية وتعتبر هذه الآلية إحدى آليات الجهاز المناعي للدفاع عن الجسم (شكل ١٢-٢) . أما بالنسبة للصورة الثانية من الابتلاع الخلوي وهي الشرب الخلوي Pinocytosis ويطلق عليها أيضا أن الخلية تشرب Cell-drinking حيث ينتش غشاء الخلية للدخل ويلخذ بدخله قطرة من سائل Fluid وبذلك تتكون حويصلة بدخلها مسائل وتتفصل عن غشاء الخلية لتكون ضمن محتويات الليسوسوم ثم تقوم هذه الحويصلة بنقل محتوياتها من السائل إلى السيتوبلازم Cytoplasm .

لما بالنسبة للصورة الثالثة من الابتلاع الخلوي فيطلق عليها الابتلاع عن طريق مستقبل .



شكل ١٢-٢: الشكل يوضح أن عملية الإتهام الخلوي Phagocytosis هي أحد صور عملية الابتلاع الخلوي Endocytosis حيث تقوم الخلية (في عملية هي عكس عملية الطرد الخلوي) بابتلاع مادة صلبة كبيرة بدخلها.

Receptor-mediated endocytosis : الابتلاع الخلوي عن طريق مستقبل

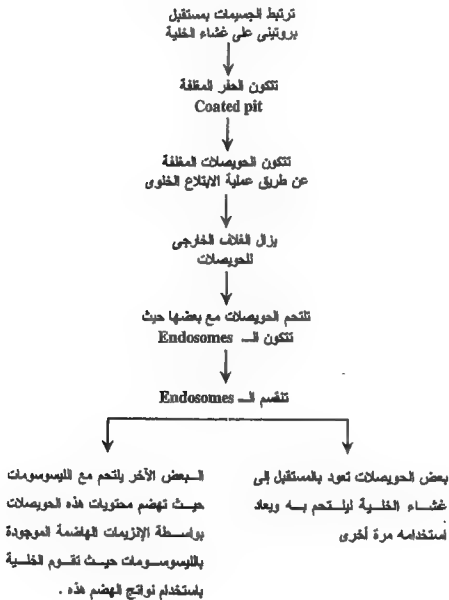
وفي هذه العملية فإن بعض البروتينات أو الجسيمات المتخصصة ترتبط بمستقبلات بروتينية منغصة في غشاء الخلية (شكل ١٢-٢) . ثم تهاجر هذه الجزيئات المرتبطة بالبروتين إلى فجوات أو

حفر مغلفة موجودة في مواقع معينة على السطح الميتوبلازمي للغشاء المغلف والذي يتميز بوجود تركيب تشبه شعر الشارب (شكل ٢-١٣) . وهذه الحفر المغلفة تكون حويصلات مغلفة Coated vesicles عن طريق الابتلاع الخلوي . والغشاء المغلف لهذه الحويصلات يتكون من بروتين يعرف باسم Clathrin والذي من لحظة أخرى يكون تركيب يشبه السلة Basket-like structure حول هذه الحويصلات . ثم في المرحلة الثانية وبعد إفراز هذه الحويصلات في الميتوبلازم ينفصل عنها الغلاف ويتركها حرة في الميتوبلازم . ثم تلتحم هذه الحويصلات مع حويصلات مشابهة أخرى متشابهة لها لتتكون تركيب تسمى Endosomes وهي عبارة عن حويصلات أكبر من السابقة تكون المادة المنقولة بدخلها حرة وغير متصلة بمستقبلات الغشاء Membrane receptors (شكل ٢-١٣) .

والأنوسوم Endosome يمكن أن ينقسم في هذه الحالة ليكون نوعين من الحويصلات، أحدهما يحتوي على المستقبل ويمكن أن يعود ليلتحم مع غشاء الخلية ليعاد استخدامه مرة أخرى . أما النوع الثاني من الحويصلات فيلتحم مع الأنوسوم حيث يمكن استخدامه في النشاط البيولوجي للخلية . هذا ويمكن تلخيص عملية الابتلاع الخلوي عن طريق مستقبل متوسط في الخطوات التالية (انظر الرسم التخطيطي في الصفحة التالية).

ويجدر الإشارة أن بعض الهرمونات يتم هدمها عن طريق عملية الابتلاع الخلوي بواسطة مستقبل Receptor-mediated endocytosis . كما يتم أيضا تخفيض مستوى كولسترول الدم في الإنسان والحيوان عن طريق هذه العملية فالكولسترول الموجود بالدم تأخذه الخلايا الحيوانية عن طريق عملية الابتلاع الخلوي بواسطة مستقبل لمستقبل الليبوبروتين منخفض الكثافة Low density lipoprotein receptor على غشاء الخلية يقوم بربط جسيمات الليبوبروتين منخفض الكثافة (والتي هي الحامل الأولى للكولسترول في الدم) . بعد ذلك يتحرك معقد مستقبل الليبوبروتين منخفض الكثافة LDL-receptor complex على سطح السوائل الموجودة على سطح الغشاء حيث يتجمع في مواقع حفر مغلفة على سطح الغشاء . ثم تحدث عملية ابتلاع خلوي Endocytosis للحفر المغلفة Coated pits حيث تتكون حويصلات مغلفة Coated vesicles في الميتوبلازم (شكل ٢-١٣) . بعد ذلك ينفصل الغشاء وتلتحم الحويصلات مع بعضها لتتكون Smooth vesicles يطلق عليها Endosomes ثم ينفصل المستقبل من جسيمات LDL في الأنوسوم وتحرك إلى Endosomes إلى مواقع مختلفة في الحويصلات وتتكون حويصلات جديدة من Endosomes . والحويصلات المحترقة على المستقبل تحرك إلى السطح وتلتحم مع الغشاء ليعاد استخدامها مرة أخرى . أما

الحويصلات المحتوية على جسيمات LDL فلتتح مع الليسوسومات لتتكون الليسوسومات الثانوية Secondary lysosomes حيث تتعرض للهضم بواسطة الإنزيمات الموجودة بالليسوسومات وبالتالي تقوم إنزيمات التحلل المائي Hydrolytic enzymes بالارتز الكولسترول من هذه الجسيمات ليستخدم بواسطة الخلية.



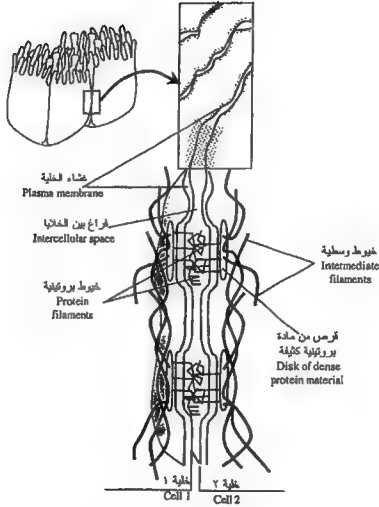
الروابط بين الخلايا : Junctions Between Cells

الروابط التي تربط أغشية الخلايا ببعضها يمكن اعتبارها أيضا اتصالات متخصصة بين هذه الخلايا . فالخلايا المتصلة ببعضها البعض يمكن أن تعمل اتصال خاص بين محتويات هذه الخلايا الداخلية والذي يشمل أيضا أغشية خلاياها مع بعض مكوناتها . وهذه الاتصالات أو الروابط يمكن أن تسمح للخلايا المتجاورة بتكوين اتصال قوى مع بعضها البعض وهذا الاتصال ممكن أن يؤدي إلى عدم السماح لمواد بعض المواد أو يؤدي إلى ظهور اتصال سريع بين وظائف هذه الخلايا المتجاورة . ونفس الخلايا الحيوانية يوجد ثلاثة أنواع من الروابط هي : 1-Desmosomes 2-Tight 3-Gap junctions لما خلايا التنبك فترتبط ببعضها بالـ Plasmadesmata .

١-الديزموموس : Desmosomes وهي عبارة عن نقط اتصال بين بعض الخلايا الحيوانية . فالخلايا الطلائية المتجاورة مثل تلك الموجودة بالطبقة العليا من الجلد تكون مترابطة مع بعضها بشدة بالدرجة التي تحتاج إلى قوة ميكانيكية كبيرة لتصلها عن بعضها . فهي ترتبط ببعضها بتركيب تسمى Desmosomes . وكل ديزموموم يحتوى على أجزاء تربط بين خليتين متجاورتين (شكل ٢-١٧) وهو يتكون من مناطق بها مواد كثيفة توجد على الجوانب المولجة للـ Cytosol من الغشاء بالإضافة إلى خيوط بروتينية تبرز غشائي الخليتين المتجاورتين والفراغ الموجود بينهما .

والديزموموس Desmosomes عبارة عن نظام تثبيت (كل ما يملك شيئاً بإحكام) من الخيوط الرفيعة الموجودة داخل الخلايا . أي أن شبكة الخيوط الرفيعة Intermediate filament الموجودة في الخلايا المتجاورة تتصل مع بعضها وبالتالي فالضغوط الميكانيكية Mechanical stresses التي تقع عليها تتوزع على السطح بدرجة متجانسة . ووظيفة الديزموموس Desmosomes هذه تبدو أساساً وظيفة ميكانيكية فهي تربط الخلايا مع بعضها عند نقطة مثل مسمار فيبرشام (الفبرشام) (شكل ٢-١٧) ونتيجة لذلك فإن الخلايا يمكن أن تعمل شرائح قوية نتيجة لارتباطها بقوة عند نقط معينة مع السماح للمواد بالمرور بحرية في المسافات بين خلوية (بين أغشية الخلايا) .

٢-الروابط المسدودة أو المحكمة الإغلاق : Tight Junctions وهي تعمل سدّاد محكم للمسافات أو الفراغات بين الخلوية في بعض الخلايا الحيوانية . أي أنها عبارة عن مساحة بسيطة من الروابط المحكمة بين أغشية الخلايا المتجاورة (شكل ٢-١٨) ، وهذه الروابط تكون محكمة بدرجة أنها لا تترك أي فراغ حول الخلية وبالتالي لا تستطيع مواد معينة المرور عبر طبقة الخلايا المرتبطة بالـ Tight junctions .



شكل ٢-١٧: الشكل يوضح أن الديزموزوم Desmosomes تربط خلتين حيوانيتين متجاورتين. ويظهر الديزموزوم كجزء كثيف في الصورة المأخوذة بواسطة الميكروسكوب الماسح الإلكتروني .

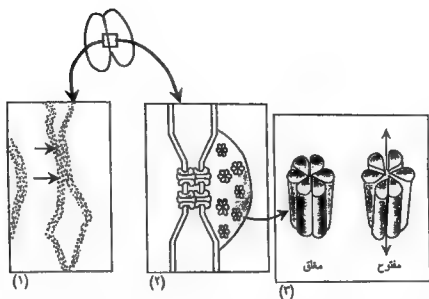
والدراسات على الميكروسكوب الإلكتروني أوضحت أن أغشية الخلايا الملتصقة مع بعضها بالـ Tight junctions تكون ملتصقة تماما عند مواقع الالتحام هذه حيث تقوم البروتينات بربطها وبالتالي ربط الخليتين مع بعضها (شكل ٢-١٨) .

والخلايا التي ترتبط مع بعضها بالروابط السدود Tight junctions تعمل سدادة كاملة لتجاويف الجسم Seal off body cavities ، ومثالا ذلك فـالخلايا الطلائية المبطنه للأمعاء ترتبط مع

تمر عبر غشاء الخلية قبل وصولها إلى الدم هي فقط التي تعتبر بيئة داخلية . و خلاصة القول أن الروابط المحدودة Tight junctions تصل على مد كل الفراغات الموجودة بين غشائى الخليتين المتجاورتين . بلمادهما الثلاثية وهكذا مع باقى الخلايا لتظهر شريحة من النسيج مغلقة المسافات الموجودة بين خلاياها .

٣- الروابط الفجوية أو الممرية : Gap Junctions هذه الروابط تسمح بنقل الجزيئات الصغيرة والأيونات بين بعض الخلايا الحيوانية . وهذا النوع الثالث من الإتصال للدخل خلوى Intercellular connection في الخلايا الحيوانية يشبه رابطة لاديزموسوم Desmosome في أنه يعبر المسافة بين خلوية إلا أن الفراغ المتسع في حالة Desmosomes يكون في حالة Gap junctions أضيق . وأيضا فالروابط الفجوية Gap junctions تختلف في أنها لا تربط الخلايا فحسب ولكن تحتوى على ثغور تجعل ذلك اتصال بين سيتوبلازم الخلية والخلية المجاورة لها (شكل ١٩-٢) . وتتكون الـ Gap junctions من ترتيب مسدس من البروتين لتكون عقد من الثقوب كل ثقب يتراوح قطره بين ١-٢ نانومتر 1 to 2 nanometer . والجزيئات الغير عضوية الصغيرة مثل الأيونات وبعض الجزيئات الليبولوجية مثل الجزيئات المشحونة من ATP يمكن أن تمر من هذه الثقوب ، أما الجزيئات الكبيرة فلا تستطيع المرور . والـ Gap junctions توفر الإتصال الكيميائى والكهربى السريع بين الخلايا . ومثالا لذلك فخلايا البنكرياس ترتبط مع بعضها بالـ Gap junctions ، ولذلك ففى حالة تنبيه خلية β -cell لإفراز هرمون الأنسولين فإن هذا التنبيه ينتقل مباشرة إلى باقى الخلايا عن طريق الـ Gap junctions بينهما . كما تسمح روابط Gap junctions بالإتصال الكهربى لبعض الخلايا العصبية . وجدير بالذكر أيضا أن خلايا عضلة القلب Heart muscle cells متصلة مع بعضها بروابط فجوية Gap junctions وبالتالي فهى تسمح لها بتزامن الانقباض Synchronization of their contractions . كما تتحكم الخلايا في مرور بعض المواد عن طريق إغلاق وفتح الـ Gap junctions . وهناك عدة براهين على أن حالات قفل وفتح الـ Gap junctions يتحكم فيها تركيز أيونات معينة داخل الخلية .

والروابط الثلاثة السابقة تختص بالاتصال الخلوى بين الخلايا الحيوانية . أما بالنسبة للخلايا النباتية فهى تتصل ببعضها بروابط تسمى Plasmadesmata .



شكل ٢-١٩: الشكل يوضح أن الروابط النخوية Gap junctions تسمح بمرور الجزيئات الصغيرة والأيونات بين
 سيتوبلازم الخلايا المتجاورة .

الباب الثالث التعض الخلوى Cellular Organization

مقدمة : Introduction

الخلايا جميعها في كل للكائنات الحية لها مميزات تركيبية معينة متشابهة . والأمثلة على ذلك كثيرة . فأسلوب بناء غشاء الخلية Plasma membrane وتركيبه متماثل في كل خلايا الكائنات الحية. كما أن كل تفاعلات أيض الخلية Cellular metabolism (عمليات البناء والهدم الخلوى) تتم بطريقة واحدة في كل الكائنات الحية، ومن أمثلة ذلك عملية تضاعف الحمض النووى DNA وعملية تخليق البروتين وإنتاج الطاقة الكيميائية في الخلية عن طريق تكسير جزيئات الجلوكوز وتحولها إلى ثنائى أكسيد كربون وماء ... إلخ .

والخلاية هى أصغر جزء من المادة الحية والتي يمكنها أن تقوم بجميع وظائف الحياة . وبالرغم من أن بعض الخلايا يكون أكثر تعقيدا من البعض الآخر إلا أن جميعها لها نفس المكونات الطبيعية والكيميائية اللازمة لبقاء الخلية ونموها وانقسامها . والخلايا تقوم بتحويل الطاقة من صورة إلى صورة أخرى وتستخدم هذه الطاقة للقيام بعدد كبير من الوظائف . كما تخزن الخلية المعلومات الوراثية في جزيئات الحمض النووى DNA وتستخدم المعلومات الوراثية الموجودة فيه للتحكم في عمليات الأيض Metabolism وأيضا للتحكم في الخصائص التركيبية للخلية نفسها . ويجب ملاحظة أن الخلية بكامل تركيبها (نواة + سيتوبلازم + غشاء الخلية) تستطيع البقاء حية، أما لو تم عزل جزء من مكونات الخلية هذه فلا يمكنه البقاء حيا .

والخلايا تسهم في عدد من الخصائص ، والأمثلة على ذلك كثيرة وأولها أن الخلية يجب أن تحتفظ بمكوناتها مع بعضها منعزلة عن البيئة الخارجية ولذلك لجميع الخلايا ابتداء من الخلية البكتيرية حتى خلية الإنسان أو الفيل محاطة بغشاء يضم مكوناتها مع بعضها ويفصلها عن البيئة الخارجية وهو ما يعرف بغشاء الخلية Plasma membrane وتركيب هذا الغشاء ووظائفه متشابه في كل الخلايا (راجع السابغ الثانى) . وثالثا: أن الخلايا تحتاج لتجميع بعض المواد وتخزين الطاقة وتبادل بعض المواد مع الوسط الخارجى ومع الخلايا الأخرى وإدخال بعض المواد وعدم إدخال مواد أخرى ولذلك نجد أن غشاء الخلية له خاصية النفاذية الانتقائية Selectively permeable فهو يتحكم فيما يدخل

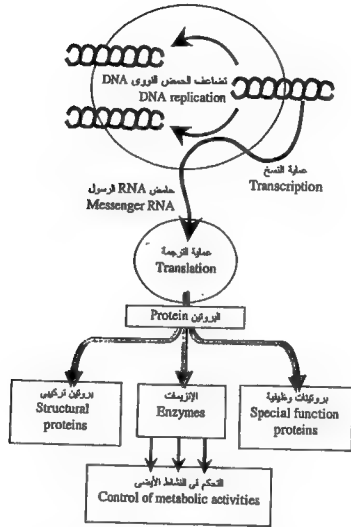
الخلية وما يخرج منها، بالإضافة إلى احتفاظه بمكونات الخلية بتركيب كيميائي مختلف عن خارجها . وثالثاً: أن كل التفاعلات الكيميائية التي تقوم بتحويل الطاقة لدخل الخلية من صورة إلى صورة أخرى متشابهة في كل الخلايا ابتداء من الخلية البكتيرية وحتى خلية الكائن المعقد التركيب مثل النبات أو الحيوان . ورابعاً: فكل الخلايا تحتاج إلى تنظيم والتحكم في نشاطها والمحافظة على التميز التركيبي لها، ويتأتى ذلك عن طريق المعلومات الوراثية Genetic information . ومثل هذه المعلومات الوراثية عن طريق الشفرة الوراثية Genetic code (شكل ٣-١) حيث يقوم الحامض النووي DNA بعملية تسمى نسخ الجين Gene transcription حيث يتم طبع الجزء من DNA الذى سيشفّر على الحامض النووي RNA ويطلق عليه RNA الرسول Messenger RNA والذي يخرج من النواة إلى السيتوبلازم حيث تتم عملية الترجمة Translation لتكوين البروتين المطلوب. وكما نعلم فالبروتين إما أن يكون بروتين تركيبى Structural protein أو بروتين وظيفى Functional protein وفى كلتا الحالتين فهو يسلطنا مظهر الصفة Phenotypic characteristics .

حجم الخلية : Cell Size

حجم الخلية محصور ضمن حدود معينة، فبالرغم من الاختلافات الكبيرة في أحجام الخلايا إلا أن معظمها صغير ولا يرى إلا بالمجهر . وذلك فمعظم الخلايا يقلس أبعادها بواحدات قياس صغيرة هي الميكرون والنانومتر ويبدأها كالآتى:

المتر الطولى = ١٠٠٠	1m = 1000 mm
المليمتر = ١٠٠٠ ميكرومتر	1mm = 1000 m
الميكرومتر = ١٠٠٠ نانومتر	1m = 1000 nm

معظم أنواع خلايا البكتريا وخلايا الحيوانات يمكن رؤيتها بالميكرومكوب الضوئى العادى. وهناك بعض الخلايا يمكن رؤيتها بالعين المجردة مثل البويضه التى تفرزها النساء أثناء لدوره الشهرية قطرها حوالى ١٣٠ ميكرومتر أما الخلايا الكبيرة جدا فهي خلايا بيض الدجاجة والطيور . (لاحظ أن بيض الدجاج والطيور شدا لأن كلا من الصفار وبيض البويضه يتكون من مواد غذائية مخزنة أما الجزء الوظيفى في الخلية فهو صغير لا يرى إلا بالمجهر وهو عبارة عن كتلة موجودة على سطح الصفار) .



شكل ٣-١ : ديلجرام يوضح أن المعلومات الوراثية تنتقل من حمض DNA النووي إلى حمض RNA الرسول عن طريق عملية النسخ Transcription ثم يتم نقل هذه المعلومات المنسوخة عن طريق عملية الترجمة Translation لتكوين البروتين (أى يتم تحويل لغة التماثل للنيوكليوتيدى إلى لغة تماثل الأحماض الأمينية إلى البروتين المطلوب).

وهناك علاقة بين شكل وحجم الخلايا والوظيفة التى تقوم بها هذه الخلايا . فخلايا الأميبا وخلايا الدم البيضاء يمكنهم تغيير شكلهم حتى يتحركوا من مكانهم (بالمستخدام الأقدام الكاذبة) . وبعض الخلايا يكون لها ذبول طويلة تسمى أسواط Flagella مثل الحيوانات المنوية . كما أن بعض الخلايا

تمتد بدرجة كبيرة داخل جسم الحيوان حتى يمكنها توصيل للتنبيهات من أماكن بعيدة في الجسم مثل الخلية العصبية التي قد يصل طولها إلى أكثر من واحد متر في الإنسان . وشكل (٢-٣) يوضح الأشكال المختلفة لبعض الخلايا .

الخلايا المميزة النواة والخلايا الغير مميزة النواة :

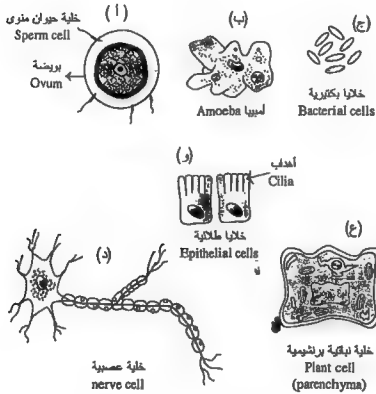
Prokaryotic and Eukaryotic cells :

الخلايا مميزة النواة Eukaryotes (لها نواة مغلفة بغشاء) تشمل كل أعضاء مملكة الفطريات Protist (من رتبة المتعضيات وحيدة الخلية)، والفطر Fungus والحيوان Animal والنبات Plant . أى أن هذه الخلايا تمتد من الممرخ البدائي Primitive ferns حتى النباتات المعقدة، ومن الأميبا والإسفنجيات Sponges حتى الحشرات والحيوانات الثديية . وبالرغم من أن هذه الكائنات الحية مختلفة ومتباينة تباين واسع في خصائصها إلا أنها جميعها تتكون من خلايا مميزة النواة Eukaryotes وجميع هذه الخلايا تشترك (تشابه) في مميزات تركيبية معينة . فهي جميعها لها نواة مغلفة بغشاء نووي وتحتوى على الحديد من العضيات Organelles الميتوكوندريا مثل الميتوكوندريا وجهاز جولجي والشبكة الإندوبلازمية ... الخ .

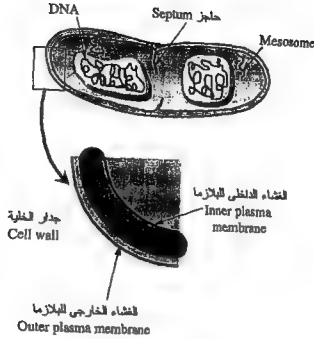
أما الخلايا غير مميزة النواة Prokaryotes (كلمة Prokaryotes تعنى ما قبل النواة) فنواتها غير مغلفة بغشاء والحامض النووي DNA فيها يوجد على شكل خيط دائري مفرد كما لا يوجد بها عضيات غشائية Membranous organelles ومن أمثلتها البكتريا Bacteria (شكل ٣-٥) .

مما سبق يتضح لنا أن جميع الكائنات الحية يمكن أن تنقسم إلى قسمين تبعاً للتفريق في تركيب خلاياها . فـ Eukaryotes عبارة عن كائنات حية خلاياها تحتوي على نظام تحض خلوى على حث يحتوي ميتوبلازم هذه الخلايا على عضيات مغلفة بغشاء Membrane bound organelles (شكل ٣-٦) كما يوجد الحامض النووي DNA لهذه الخلايا داخل نواة مغلفة بغشاء أيضاً . وجدير بالذكر أن حجم الخلايا غير مميزة النواة أصغر بكثير من حجم الخلايا مميزة النواة . فمتوسط قطر الخلية غير مميزة النواة يعادل عشر متوسط قطر الخلية مميزة النواة . وجدول (١-٣) يلخص لنا أنواع العضيات الخلوية المختلفة في الخلايا مميزة النواة ووصف مختصر لها مع بيان أهم وظائفها . والخلايا غير مميزة النواة Prokaryotes هي عبارة عن كائنات حية مكونة من خلية واحدة تنتمي إلى مملكة خلايا ما قبل السنواة Kingdom Prokaryotae والتي تشمل البكتريا كما سبق ذكره . والحامض النووي DNA في هذه الخلايا يكون مركز في موقع أو أكثر وكل موقع يسمى Nuclear

area وهذه المواقع غير مغطاة بغشاء . والخلايا غير مميزة للنواة لها غشاء بلازما Plasma membrane مثل الخلايا مميزة للنواة بالضبط (لاحظ أن أى خلية لابد أن تكون مغطاة بغشاء البلازما). وهذا الغشاء يحافظ على محتويات الخلية الداخلية كما يقوم ببعض الوظائف أثناء عملية التنفس الخلوى (كما سيأتى ذكره بإذن الله فى الباب السابع) . كما يفتب أيضا فى هذه الخلايا كثير من العضيات الميتوكلازمية .



شكل ٣-٧: الشكل يوضح علاقة حجم وشكل الخلية بوظيفتها . يوضح الشكل (أ) أن البرويضة كبيرة نسبيا لما الحويون المملوى فهو صغير وله ذيل (سوط) يساعده على الحركة ويفرق البرويضة. والشكل (ب) يوضح أن الأميبيا تغير من شكلها حتى تستطيع الحركة بالأقدام الكاذبة . والشكل (ج) يوضح أن الحجم الصغير لخلايا البكتريا يساعدها على النمو والانقسام. ويوضح الشكل (د) أن الخلية العصبية لها محور طويل حتى تستطيع توصيل التنبيه من موقع إلى موقع آخر بالجسم. ويوضح الشكل (هـ) أن الخلايا الطلائية لها أدلب حتى تستطيع تحريك السوائل من على السطح. كما يوضح الشكل (و) الخلية النباتية البرنشمية.

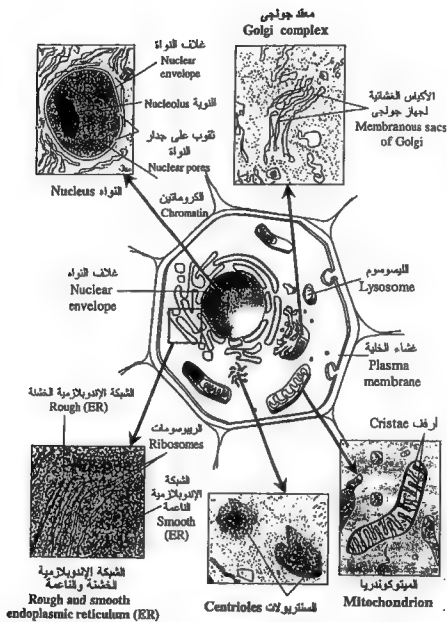


شكل ٣-٥: الشكل يوضح تركيب الخلية غير مميزة النواة (الخلية البكتيرية) ويتضح في الشكل نقص وجود الحبيبات الغشائية Membranous organelles.

الخلايا مميزة النواة تحتوي على عضيات خاصة :

Eukaryotic Cells Contain Specialized Organelles :

مع ظهور الميكروسكوب الإلكتروني وموائل البحوث المتقدمة الأخرى إتسعت معرفة المكونات الداخلية للخلية حيث إتضح أن مكونات الخلية عالية التعض والتعقيد أيضا (شكل ٣-٦ ، ٣-٧) . فالخلية تحتوي على مركز يتحكم فيها وهي نواة الخلية نفسها، ومصنع الطاقة ومصنع للتغليف ، ونظام إلتلاف ذاتي Self-destruct system . و تعتبر الآن كلمة البروتوبلازم (مادة الحياة) Protoplasm كلمة عامة لقادة البروتوبلازم خارج النواة تسمى السيتوبلازم Cytoplasm والمادة الموجودة داخل النواة تسمى Nucleoplasm. والعضيات المختلفة توجد منفردة في محلول ، هذا المحلول من مكونات السيتوبلازم أيضا ويطلق عليه السيتوزول Cytosol . أى أن السيتوبلازم هو عبارة عن السيتوزول Cytosol مضافا إليه كل العضيات فيما عدا النواة .



شكل ٣-٦: الشكل يوضح مكونات خلية حيوانية مميزة النواة Eukaryotic animal cell .

جدول ٣-١: تركيب الخلايا مميزة النواة Eukaryotic cells ووصف مختصر لها وأهم وظائفها:

التركيب	الوصف	أهم الوظائف
نواة الخلية		
النواة Nucleus	تركيب كبير لمسيبها محاط بغشاء مزدوج يحتوي على النوية والكروموسومات	المعلومات الوراثية الموجودة على DNA تسمح على RNA لتكوين البروتينات المتخصصة في الخلية .
النوية Nucleolus	جسم حبيبي داخل النواة يتكون من RNA والبروتينات	مكان تخليق RNA ويوجد بها الوندين المكونين للريبوسومات وهما الـ Small subunit and large subunit .
الكروموسومات Chromosomes	تتكون من معقد البروتين مع DNA ويخلق عليها الكروماتين وتصبح واضحة كشكل للضباب عند إقسام الخلية .	تحتوي على الجينات وهي وحدات المعلومات الوراثية التي تحكم في تركيب ووظائف الخلية .
العضيات السيتوبلازمية Cytoplasmic organelles		
غشاء الخلية Plasma membrane	غشاء مزدوج يتكون أساسا من الفوسفوليبيدات ويحيط بالخلايا الحية .	يحيط كل محتويات الخلية ويميزها عن الوسط الخارجي وينظم حركة المواد من وإلى الخلية . وهو المسؤول عن عملية الاتصال الخلوي ويوجد أيضا في الخلايا غير مميزة للنواة Prokaryotic cells أي لابد من وجوده في كل الخلايا .
الشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic reticulum (ER)	شبكة من الأغشية الداخلية تمتد في السيتوبلازم ويوجد منها نوعان أحدهما ناعمة والثانية خشنة .	مكان تخليق للبروتينات المكونة للغشاء . وهي مصدر الحويصلات الناقلة التي تنقل الجزيئات الكبيرة من البروتين لتفرزها خارج الخلية .
الشبكة الإندوبلازمية الناعمة SER	لا يوجد على سطحها الخارجي ريبوسومات	تخليق للبروتينات والتخلص من السموم
الشبكة الإندوبلازمية الخشنة RER	يوجد على سطحها الخارجي الريبوسومات	تخليق عديد من البروتينات المطلوب إفرازها من الخلية أو امتصاصها في غشاء الخلية نفسها .
الريبوسومات Ribosomes	حبيبات تتكون من RNA والبروتين بعضها يلتصق بالسطح الخارجي للشبكة الإندوبلازمية	تخليق عديدات البروتين في كلا من الخلايا مميزة للنواة والخلايا غير مميزة للنواة .

التركيب	الوصف	أهم الوظائف
	الخارجي للشبكة الإندوبلازمية الخضنة وبعضها يوجد حر في السيتوزول Cytosol	
جسم جولجي أو معقد جولجي Golgi complex	رفوف متراسة من أكياس غشائية مغلقة	تعديل البروتينات المختلفة وتخليقها لإفرازها وتضيق بروتينات أخرى للفجوات وعضيات أخرى .
الليسوسومات Lysosomes	أكياس غشائية توجد في الخلايا الحيوانية	تحتوي على أنزيمات تقوم بتكسير المواد التي تدخل الخلية والإفرازات والمخلفات.
أجسام صغيرة Microbodies ومن أمثلتها Peroxisomes	أكياس غشائية تحتوي على مختلف الأنزيمات	هي مواقع لعدد كبير مختلف من التفاعلات الميتابولزمية .
الميتوكوندريا Mitochondria ومفردها Mitochondrion	عبارة عن أكياس تتكون من غشائين: الغشاء الداخلي فيها منشئ إلى الدخول ليكون أرفف Cristae وهذه الـ Cristae تحيط بمادة الميتوكوندريا Mitochondrial matrix	هي مكان لعدد من تفاعلات تنفس الخلية . ونقل الطاقة من سكر الجلوكوز والدهون والبروتينات إلى حاملات الطاقة ATPs
الهيكال الخلوي The cytoskeleton		
الألياف الدقيقة Microtubules	عبارة عن ألياف مجوفة مغلقة من تحت وحدات بروتين التوبيولين Tubulin	توفر دعم تركيبي ولها وظيفة في حركة الخلية وعضياتها كما أن لها دور في إقسام الخلية ومنها يتكون الأهداب cilia والأسواط flagella والسنطريولات Centrioles والأجسام القاعدية Basal bodies
الخيطوط الرفيعة Microfilaments	تركيب صلبة تشبه القصب تتكون من بروتين الأكتين Actin protein	توفر دعم تركيبي . تلعب دور في حركة الخلية وعضياتها وفي إقسام الخلية أيضا .
السنطريولات Centrioles	زوج من الأسطوانات المجوفة توجد بالقرب من مركز الخلية كل سنطريول يتكون من تسعة مجايع كل مجموعة مكونة من ثلاثة ألياف دقيقة ويسمى ذلك تركيب 9 × 3 9 × 3 structure	لا توجد في معظم الثدييات. الخيطوط المغزلية تتكون بين السنطريولات لثناء إقسام الخلية الحيوانية .

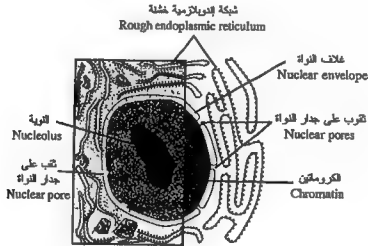
للتركيب	الوصف .	أهم الوظائف
الأهداب Cilia ومفردها Cilium	عبارة عن نتوءات صغيرة نسبيا تمتد من على أسطح الخلايا ومغطاة بغشاء الخلية تتكون من أكتينين دقيقتين في المركز وتُسَمَّى الأطراف ويسمى $9 + 2$ structure	تستخدم لتحريك السوائل من على أسطح الخلايا مثل الأهداب الموجودة على الخلايا الطلائية المبطن للقصبة الهوائية فهي تحرك السوائل المخاطية المحملة بالأكترية لأعلى حتى يتم طردها من الجسم .
الأسواط Flagella ومفردها Flagellum	امتدادات طويلة من سطح الخلية تتكون من أكتينين دقيقتين في المركز وتسعة أكتينيب حولها في الأطراف ويسمى تركيب $9 + 2$ structure وتغطي هذه الأسواط بغشاء الخلية .	توجد كتركيب في الحيوان المنوى وتستخدم في الحركة التقدمية للحيون المنوى .

العضيات الغشائية : Membranous Organelles العضيات الغشائية الموجودة بـسيئربلازم الخلية متخصصة وظفيا بمعنى أن لكل عضيد وظائفه الخاصة وخصائصه أيضا . وبالتالي فهناك عدد كبير ومختلف من الوظائف يتم تأديتها داخل الخلية بواسطة العضيات المختلفة . ومثالا لذلك فأغشية الخلية Cellular membranes ليس لها أطراف حرة وبالتالي فالعضيات الخلوية (العضيات الغشائية Membranous organelles) دائما تحتوي على الأكال على فراغ واحد مغلف أو مكونات مغلفة . هذه المكونات المغلفة تسمح بنشاط معين داخل الخلية وهذا للنشاط محدد بموقع معين متخصص بها . وأيضا فمواد للتفاعل التي تتركز في مكان منفرد وصغير داخل الحجم الكلى للخلية تكون ملتصقة ومعرضة لبعضها بدرجة كبيرة مما يسبب زيادة معدلات التفاعل بدرجة كبيرة . بالإضافة إلى ذلك فتغليف المكونات بغشاء داخل الخلية لا يسمح لمواد التفاعل المغلفة بالتفاعل مع مواد أخرى في مواقع أخرى حتى لا تحدث فوضى من التفاعلات داخل الخلية تفقد الخلية خصائصها ووظائفها . كما تعيد الأغشية أيضا في عالية للسماح بتخليق الطاقة ، الغشاء يولر حاجز Barrier مشابه للسد الموجود على النهر . فالتركيزات المختلفة لمادة معينة على جانبي الغشاء هي عبارة عن صورة من صور الطاقة المخزنة Stored energy (أو الطاقة لكلمة Potential energy) . فعند مرور الجسيمات عبر الغشاء من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل يمكن للخلية في هذه الحالة تحويل جزء من طاقة هذه الجسيمات إلى طاقة كيميائية في جزيئات حملات الطاقة ATP molecules .

وعمليات تحويل الطاقة Energy conversion هذه هي الآلية الأساسية Basic mechanism والتي تستخدمها الخلايا لاحتجاز وتحويل الطاقة للمحافظة والإبقاء على حياتها.

النواة : The Nucleus نواة الخلية تحتوى على الحامض النووى DNA وهو المادة الوراثية الموجودة بالخلية (لاحظ أن الميتوكوندريا تحتوى على كمية ضئيلة جدا من الحامض النووى DNA تقدر بـ ٠,٠٣% من الكمية الكلية لهذا الحامض بالخلية) . وفى معظم الأحيان يكون شكل النواة كروى أو بيضاوى وقطرها حوالى ٥ ميكرون 5 m، وتوجد غالبا في مركز الخلية . ومعظم الخلايا تحتوى على نواة واحدة ، ولكن هناك إستثناءات فكريات الدم الحمراء Erythrocytes لا تحتوى على نواة كما أن بعض أنواع خلايا الدم البيضاء والألياف العضلية Muscle Fibers تحتوى على أكثر من نواة .

غلاف النواة : The Nuclear Envelope غلاف النواة شكل (٣ - ٧) ينظم عملية نقل المواد بين النواة والسيتوبلازم . ويتكون من غشاء مزدوج يفصل مكونات النواة عن السيتوبلازم. هذا الغشاء المزدوج يلتحم عدد عدة مواقع متعاقبة ليكون ثغور على غلاف النواة Nuclear pores . وهذه الثغور تسمح بمرور المواد داخل النواة إلى السيتوبلازم ولكن هذه النفاذية عالية الانتقائية بحيث أنها تسمح لجزيئات معينة للمرور من هذه الثغور .



شكل ٣ - ٧: الشكل يوضح مكونات نواة الخلية Nucleus.

الكروموسومات : Chromosomes الكروموسومات تتكون من الكروماتين **Chromatin** . والكروماتين عبارة عن معقد من الحامض النووي DNA والبروتين . وجزيئات الحامض النووي DNA هى التى تكون الجينات **Genes** وهذه الجينات تحتوى على كل كودونات الشفرة الوراثية **Genetic code** اللازمة لتطبيق كل البروتينات التى تحتاجها الخلية . والنواة هى التى تتحكم فى عملية تخليق البروتين والتى تتم فى السيتوبلازم . وتقوم النواة بإرسال الحامض النووى RNA الرسول **Messenger RNA** (ويكتب كالتالى mRNA) من خلال غلاف النواة إلى السيتوبلازم. وجزيئات حامض mRNA تكون حاملة بصورة معكوسة للجينات الموجودة على الخيط المنسوخ **The transcribed strand** من الحامض النووى DNA

والحامض النووى DNA يتحد مع البروتينات لتكوين الكروماتين **Chromatin** والذى يظهر داخل الخوة على شكل شبكة من الخيوط والحبيبات الغير منتظمة فى الخلايا التى ليست فى حالة إنقسام. وبالرغم من أن الكروماتين يظهر بأنه غير منظم (مشوش) إلا أنه عكس ذلك . فجزيئات الحامض النووى DNA طويلة ورقيقة (يصل طولها أحيانا لأكثر من متر لو تم فردها) . وهذه الجزيئات يجب أن تكون موجودة فى النواة فى شكل منظم جدا ، لذلك فالكروماتين يرتب فى شكل تراكيب تسمى كروموسومات **Chromosomes** . وعند إنقسام الخلية فإن هذه الكروموسومات تضاعف لدخل النواة وكل نسخة من النسختين للكروموسومات تذهب إلى أحد الخليتين الجديدتين الناتجتين من الإنقسام . ولذلك فعندما تبدأ الخلية فى الإنقسام نجد أن الحامض النووى DNA والبروتين المكونان للكروموسومات أصبحوا مكثفين وملئتين بدرجة كبيرة حيث يصبح للكروموسوم فى هذه الحالة لقصر وأسك ويمكن رؤيته بالمعكرومكوب العادى .

الريبوسومات : Ribosomes تحت الوحدات المكونة للريبوسومات **Ribosomal subunits** تجتمع فى النوية **Nucleolus** . وفى كل الخلايا سواء كانت خلايا مميزة أو غير مميزة النواة فإن RNA الرسول (mRNA) يجب أن يرتبط بتركيب صغير معقد يشبه المنضدة يسمى الريبوسوم **Ribosome** والذى يشتر المنضدة التى يحدث عليها تخليق البروتينات **Protein synthesis** . والريبوسومات فى الخلايا مميزة النواة . وعموما فكل الريبوسومات تتكون من جزيئين هما: تحت وحدة كبيرة **A large subunit** وتحت وحدة صغيرة **A small subunit** . وكل تحت وحدة subunit تحتوى على نوع

خاص من حامض RNA والذي يعرف بـ RNA الريبوسومي (rRNA) Ribosomal RNA
وعديد من البروتين الريبوسومي Ribosomal proteins .

وفى الخلايا مميزة النواة فإن تحت وحدات الريبوسوم (الوحدتين المكونين الريبوسوم
Ribosomal subunits) تستجمع فى موقع خاص فى النواة يسمى النوية Nucleolus . والنوية
عبارة عن جسم مدمج غير مغلف بغشاء وعادة ما يصطبغ بلون مختلف عن ما حوله من الكروماتين .
و RNA الريبوسومي Ribosomal RNA (rRNA) يتم تخليقه فى النوية . أما البروتين
الريبوسومي Ribosomal proteins فهو يخلق فى السيتوبلازم ويتم تصديره إلى النوية عبر غلاف
النواة Nuclear envelope وهذه المكونات تتجمع فى شكل تحت وحدات صغيرة وكبيرة للريبوسوم
Large and small ribosomal subunits . وهذه التحت وحدات تنتقل من النواة إلى السيتوبلازم
عبر الثغور الموجودة على غلاف النواة Nuclear pores . بعد ذلك تجتمع تحت وحدة صغيرة
Small subunit مع تحت وحدة كبيرة Large subunit لتكون ريبوسوم كامل .

النظام الغشائى الداخلى:

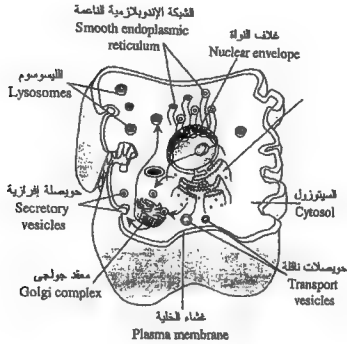
Internal Membrane System Or Endomembrane System:

بعض العضيات داخل الخلية مميزة للنواة تتصل مع بعضها بواسطة النظام الغشائى الداخلى .
وهذه العضيات تتفاعل مع بعضها بدرجة كبيرة ، كما تتعاون مع بعضها بطرق مختلفة حيث تكون فى
مجموعها النظام الغشائى داخل الخلية Endomembrane system (شكل ٣ - ٨) .

وهناك عضيات لها اتصال مباشر مع أغشية ومكونات عضيات أخرى . وبعض العضيات
الأخرى تتعامل مع بعضها بواسطة الحويصلات Vesicles . (لاحظ أن هذه الحويصلات عبارة عن
حويصلات مغلفة بغشاء تحمل داخلها مواد تنقلها من مكون من مكونات الخلية إلى مكون آخر) .
وخلال عدة خطوات معقدة يمكن لهذه الحويصلة أن تنفصل عن مكون وتنتقل لتلتحم مع مكون آخر
لتفرغ محتوياتها فيه .

والعضيات التى تعتبر من ضمن مكونات النظام الغشائى الداخلى Endomembrane
system هى الشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic reticulum - والغشاء الخارجى Outer
membrane لتغلاف النواة Nuclear envelope - ومعقد جولجى (الجسم أو أجهزة جولجى)

Golgi complexes - والليوسومات Lysosomes - والفجوات Vacuoles. وبالرغم من أن غشاء الخلية Plasma membrane ليس مكون داخلي إلا أنه يعتبر من ضمن مكونات النظام الغشائي الداخلي وذلك لأنه يشترك في أنشطة هذا النظام .



شكل ٣-٨: الشكل يوضح النظام الغشائي الداخلي Endomembrane system والذي يتكون من حدة تركيب غشائية وظيفية متصلة مع بعضها . فبعض الأغشية متصلة مع بعضها بطبيعتها ، أما الأغشية الأخرى فتتصل ببعضها عن طريق الحويصلات الناقلة Transport vesicles

الشبكة الإندوبلازمية (The Endoplasmic Reticulum (ER): الشبكة الإندوبلازمية هي مركز لتصنيع الأساس داخل الخلية . وهي تظهر في الميكروسكوب الإلكتروني عبارة عن أغشية متولدة مع بعضها تحيط بالنواة وتمتد إلى مواقع مختلفة بالسيتوبلازم . (شكل ٣-٦) . وهذا الاعتماد من الأغشية والسمي بالشبكة الإندوبلازمية يحتل جزء كبير من حجم الخلية في بعض الخلايا. وفي الحقيقة فإن هذه الأغشية المكونة للشبكة الإندوبلازمية عادة ما تتكون من طبقات متعاقبة من

تركيب مغلطحة تشبه الأكياس ومنضغطة بدرجة كبيرة وهذه التركيب تكون مكونات متصلة مع بعضها داخل السيتوبلازم (شكل ٣-٦) .

وفى معظم الخلايا هناك براهين على أن غشاء الشبكة الإندوبلازمية يتصل مع الغشاء الخارجى لخلاف الفوة وبالتالي فالمكونات التى تتكون بين غشائى الفوة تكون على اتصال بتجريف الشبكة الإندوبلازمية (لاحظ أن الشبكة الإندوبلازمية لها تجويف Lumen يعتبر مكون داخلى مفرد لها) . أما الأغشية المغلفة للعصيات الأخرى فهى لا تتصل مباشرة بالشبكة الإندوبلازمية ويبدو أنها تكون مكونات منفصلة داخل السيتوبلازم . وأغشية الشبكة الإندوبلازمية **The ER membranes** وتجويفها **Lumen** تحتوى على نظم إنزيمية عديدة ومختلفة ولتى تنشط عدد من التفاعلات الكيميائية داخل الخلية . وفى بعض الحالات تعمل أغشية الشبكة الإندوبلازمية كهيكل لحيد من النظم الإنزيمية واللى تنشط عدد من التفاعلات المتعاقبة فى المسالك الكيميائية الحيوية **Biochemical pathways** . ووجهى الغشاء يحتويان على مختلف النظم الإنزيمية وبالتالي فهما يحتويان على مواقع لتخليق منتجات مختلفة ، بالضبط مثل المصنع الذى به عدة مواقع لتصنيع عدد مختلف من المنتجات . بالإضافة إلى ذلك فهناك عدد من إنزيمات الشبكة الإندوبلازمية توجد فى تجويف الشبكة الإندوبلازمية **ER lumen** . وهذا نوعان من الشبكة الإندوبلازمية هما :- الشبكة الإندوبلازمية الخشنة والشبكة الإندوبلازمية الملساء (القاعية) .

الشبكة الإندوبلازمية الخشنة: (The Rough Endoplasmic Reticulum (RER))

تتميز الشبكة الإندوبلازمية الخشنة عن القاعية فى أن سطح الشبكة الإندوبلازمية الخشنة المواجه للسيتوزول **The cytosolic side of the RER** يوجد عليه الريبوسومات التى تظهر على شكل نقط ولتى تعتبر ملصدة يتم تخليق البروتين عليها (راجع شكل ٣-٦) . (لاحظ أيضا أن السطح الداخلى للشبكة الإندوبلازمية والمواجه للتجويف **The lumen side of the RER** لا يوجد عليه شيء). ويجدر الإشارة أن الريبوسومات ليست موجودة فقط على السطح الخارجى للشبكة الإندوبلازمية الخشنة ولكن يوجد جزء منها مبشر فى السيتوبلازم ولذلك فليس كل البروتين يخلق على الريبوسومات الموجودة على الـ **RER** ولكن بعض البروتين يخلق على الريبوسومات الموجودة بصفة حرة فى السيتوبلازم . والشبكة الإندوبلازمية تلعب دور مركزى فى تخليق وتجميع البروتينات . فعديد من البروتينات ولتى تصدر من الخلية مثل الإنزيمات الهاضمة وبعض البروتينات المغلفة لعصيات أخرى تخلق على الريبوسومات الموجودة (المتصلة) بغشاء الشبكة الإندوبلازمية الخشنة . وهذه البروتينات

المخلقة على سطح غشاء الشبكة الإندوبلازمية الخشنة تنتقل إلى تجويف الشبكة (RER lumen) حيث تقوم إنزيمات موجودة بالتجوييف بعمل تحيد لهذه البروتينات وذلك بإضافة معقد من الكربوهيدرات أو اليبيدات إليها. كما أن بعض من هذه الإنزيمات الموجودة في التجويف Lumen يمكن أن تشارك في عملية ثني Fold البروتين إلى أشكاله التكوينية المتميزة Proper conformations . بعد ذلك تنتقل البروتينات إلى أغشية أخرى عن طريق حويصلات ناقلة Transport vesicles (لاحظ أن هذه الحويصلات الناقلة تخرج من غشاء الشبكة الإندوبلازمية الخشنة لتنتقل إلى الغشاء الهدف) . هذا وقد أوضح الميكروسكوب الإلكتروني أن أغشية الشبكة الإندوبلازمية الخشنة والناعمة متصلة ببعضها كما أن تجويفها متصل ببعض ببعض بالرغم من أن لكل منهما وظائف مختلفة .

الشبكة الإندوبلازمية الناعمة (الملساء) : The Smooth Endoplasmic

Reticulum (SER) الشبكة الإندوبلازمية الناعمة هي أكثر أدوية في طبيعتها ولا يوجد على سطحها أي ريبوسومات كما هو في حالة الشبكة الإندوبلازمية الخشنة وبالتالي فالسطح الخارجى لنشأتها يبدو ناعما (شكل ٣-٦) . والشبكة الإندوبلازمية الناعمة هي المكان الأولى Primary site الذى يحدث فيه أيض Metabolism للفوسفوليبيدات Phospholipids والإسترويدات Steroids والأحماض الدهنية Fatty acids . والشبكة الإندوبلازمية الناعمة وظيفة أخرى هامة حيث تحتوى بدخلها على إنزيمات إزالة السموم Detoxifying enzymes والتي تقوم بتكسير بعض الكيماويات الضارة مثل المواد المسرطنة Carcinogens (cancer causing agents) . وهذه الكيماويات تتحول بفعل الإنزيمات القابلة للسموم إلى نواتج ذائبة في الماء Water-soluble products والتي يمكن أن تخرج من الجسم .

ويجدر الإشارة أن هناك خلايا معينة تحتوى على كمية كبيرة من الشبكة الإندوبلازمية الناعمة SER ومن أمثلة هذه الخلايا هي خلايا كبد الإنسان والتي تقوم بتخليق كمية كبيرة من الكوليسترول واللبيدات الأخرى وتعمل كموقع رئيسى لتكسير السموم في الجسم . وعلى الجانب الآخر فالشبكة الإندوبلازمية الناعمة يمكن أن تكون بمثابة مكون غشائى غير رئيسى في بعض الخلايا الأخرى .

معقد جولجى Golgi Complex: يعرف أيضا باسم جسم جولجى Golgi body أو جهاز جولجى Golgi apparatus وقد اكتشفه العالم كاميلو جولجى Camillo Golgi عام ١٨٩٨ ميلادية. وفى عديد من الخلايا يتكون جسم جولجى من رفوف مترصة من أكياس غشائية مغلطة

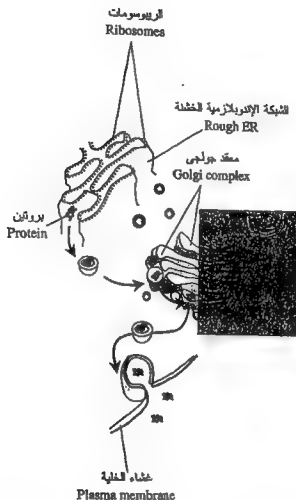
(شكل ٣-٩) والسعى يمكن أن تمتد إلى مناطق معينة بالخلية وذلك لاحتوائها على سائل به منتجات الخلية . وكل كيس من الأكياس الغشائية له فراغ دلخلى Internal space or lumen وهذه الفراغات الداخلية ليست متصلة ببعضها مثل ما تحدثنا عنه بالنسبة للشبكة الإندوبلازمية . لذلك فمعقد جولجى يحتوى على عدد من المكونات المنفصلة عن بعضها (شكل ٣-١٠) بالإضافة أيضا إلى بعض المكونات المتصلة ببعضها . وفى بعض الخلايا الحيوانية يوجد جسم جولجى على جانب واحد من النواة . وفى بعض الخلايا النباتية والحيوانية الأخرى يوجد عديد من أجسام جولجى مكونة من أكياس غشائية مغلقة منفصلة عن بعضها وممتشرة فى كل سيتوبلازم الخلية .

وظيفة جهاز جولجى الأساسية هي معالجة Processing وتصنيف Sorting وتعديل Modifying للبروتينات Proteins . ومعظم البروتينات التى تمر من خلال جسم جولجى إما أن تفرز من الخلية (بحيث تصبح جزء من غشاء الخلية أولا) أو أن تتجه إلى عضية أخر فى النظام الغشائى الدلخلى Internal membrane system .

وملخص ما سبق أنه بعد تخليق البروتين على الريبوسوم الموجود على سطح الـ RER يغلف هذا البروتين فى حويصلة ناقلة Transport vesicle مأخوذة من غشاء الشبكة الإندوبلازمية . هذه الحويصلات الناقلة تنضم بعد ذلك مع غشاء معقد جولجى (شكل ٣-١٠) وتنقل البروتينات التى كانت موجودة لدخل الحويصلة خلال الطبقات المتعددة والمنفصلة لجهاز جولجى عن طريق الحويصلات الناقلة الغشائية Membrane transport vesicles . ولثناء مرور البروتينات فى معقد جولجى فإنه يحدث لها تعديل فى عدة اتجاهات لتتكون جزيئات بيولوجية معقدة . وغالبا ما يتم تعديل السكر الذى يضاف للبروتين فى الشبكة الإندوبلازمية الخضة فى معقد جولجى .

ومعروف طبعا أن الجليكوبروتينات Glycoproteins هي عبارة عن سلسلة متفرعة من عديد السكريات Branched-chain of polysaccharides متصلة (مرتبطة) بعدد من الأحماض الأمينية المختلفة . ويلاحظ هنا أن كل بروتين يتم تعديله فى اتجاه خاص مختلف عن بروتين أخر . أما الهدف من عملية تعديل البروتين هذه فحتى الآن لم تتم دراسته بدرجة كافية .

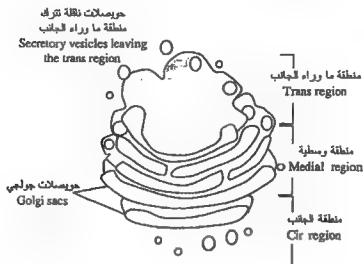
الليسوسومات Lysosomes: الليسوسومات عبارة عن أكياس صغيرة مملوءة بإنزيمات هاضمة Digestive enzymes توجد منتشرة فى سيتوبلازم الخلايا الحيوانية Animal cells (شكل ٣-١١) . والإنزيمات الموجودة بهذه الليسوسومات تقوم بتكسير الجزيئات المعقدة Complex molecules الموجود دلخلى أو خارج الخلية ولتى تشمل البروتينات والليبيدات والكربوهيدرات والأحماض النووية .



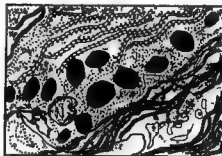
شكل ٣-٩: الشكل يوضح أجسام جولجي والحويصلات الناقلة Transport vesicles والمحتوية على البروتين والتي تنتقل من الـ RER إلى أجسام جولجي.

وقد تم التعرف على حوالي أربعين من إنزيمات التحلل Hydrolytic enzymes المختلفة والموجودة داخل ليسوسوم الخلية ومعظم هذه الإنزيمات ينشط في الوسط الحمضي ($\text{pH} = 5$). والليسوسومات هذه تسمى كقنابلجات صغيرة ويدخلها الإنزيمات الهاضمة من أجسام جولجي وهذه تسمى للليسوسومات الأولية Primary lysosomes. والخللا الفتيرة في محتواها من

الجزئيات المختزنة للطاقة Fuel molecules تقوم فيها اللايسوسومات بتكسير بعض العضيات حيث تستخدم مكوناتها كمصدر للطاقة .



شكل ٣-١: الشكل يوضح التركيب ثلاثي الأبعاد لمعد جولجي Golgi complex والحويصلات المنقطة إليه.

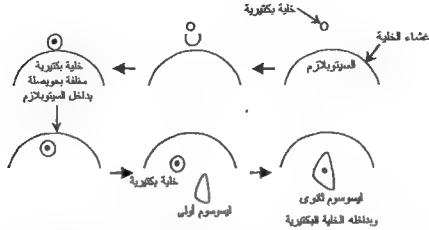


شكل ٣-١١: الحويصلات الدائكة الموضحة بالميكروسكوب الإلكتروني للفلا في الشكل هي عبارة عن اللايسوسومات Lysosomes .

كما تقوم الليسوسومات أيضا بهضم المواد الغريبة التي تدخل الخلية . فعندما تقوم خلايا الدم البيضاء White blood cells أو الخلايا الكائنة Scavenger cells بابتلاع البكتيريا أو حطام الخلايا الميتة . فهذه المادة الغريبة تظف في حويصلات Vesicles مكونة من أغشية الخلايا (راجع عملية الإبتلاع الخلوى Endocytosis بالباب التالى) . وفى هذه الحالة فإن واحد أو أكثر من الليسوسومات الأولية Primary lysosomes يلتحم بالحويصلة المحتوية على المادة الغريبة مكونا حويصلة كبيرة يطلق عليها ليوسوم ثانوى Secondary lysosome (شكل ٣-١٢) . وبالتالي تصبح المادة الغريبة في حالة ملاصقة للإنزيمات الهاضمة الفعالة والتي تقوم بتكسيرها إلى مكوناتها الأصلية . وهذه هي إحدى وسائل الجهاز المناعى لمقاومة البكتيريا الممرضة في الإنسان والحيوان .

كما تقوم الليسوسومات أيضا بتدمير العضيات الدخالية الغير سليمة مثل الميتوكوندريا وبذلك فهى تساعد الخلية على المحافظة على وظائفها وسلامة تركيبها (لاحظ أن خلايا الجسم تحتوى على كميات قليلة من الليسوسومات للتخلص من العضيات الدخالية الغير سليمة) . ويلاحظ أيضا أن هناك بعض الأنواع القليلة من الخلايا التي تحتوى على مثلات من هذه الليسوسومات ، وهذه الخلايا تقوم بتنظيف الدم وأنسجة الجسم من الفيروسات كتلك عندما تهدم أو تتلف الخلية فإن الليسوسومات تطلق محتوياتها الإنزيمية لتحطيم الخلية . كما تقوم الليسوسومات بتحطيم خلايا إنتهت صلاحيتها أو عملها كما في حالة يرقات الضفادع مثلا . ففي حالة تطور أبو ذئبيه إلى ضفدع بالغ عديم الذيل تقوم الليسوسومات بإفراز محتوياتها من الإنزيمات وتتلف خلايا الذيل الذى لم يعد له فائدة وهو ما يعرف بعملية المسخ أو الانساخ أو التحول Metamorphosis . وأيضا فالليسوسومات تلعب دورا هاما في التطور الجنينى في الإنسان ، ففي بعض مراحل نمو الجنين في الإنسان تكون أصابع الجنين مكففة Webbed (أى تحتوى على جلد بين الأصابع مثل الموجودة في بعض الطيور من البط والأوز) ويتم هدم خلايا هذه المناطق الجنينية عن طريق الإنزيمات المحررة من الليسوسومات . هذا ويعتقد أيضا أن أحد أسباب مرض التهاب المفاصل الروماتزمى Rheumatoid arthritis هو تدمير حدث للخلايا الغضروفية Cartilage cells في الأربطة بواسطة إنزيمات مفرزة من الليسوسومات . بالإضافة إلى ذلك ففي بعض الأمراض الوراثية في الإنسان والتي تعرف بالـ Lysosomal storage diseases والسدى يغيب فيه واحد من إنزيمات التحلل المائى ، وبالتالي فإن المادة التي يعمل عليها هذا الإنزيم تتجمع في الليسوسوم حيث يتسبب وجودها مع وظائف الخلية . ونوع آخر من الأمراض وهو مرض Tay-Sachs disease والذي فيه تقل أو تنفق الليبيدات العادية Normal lipids في أن

تتكسر أو تهدم داخل خلايا المخ الأمر الذى ينتج عنه تلخر عقلى أو ذهنى Mental retardation ووفاه .



شكل ٣-١٢: الشكل عبارة عن رسم تخطيطى يوضح عملية الابتلاع الخلوى Endocytosis (لاحظ أنه في هذه الحالة هو ابتلاع خلية بكتيرية والتي تلتمح بعد ابتلاعها بالليسوسوم لتقوم الإنزيمات الهاضمة بدخله بتكسيرها.

والليسوسومات لها أهمية كبيرة في التشخيص الطبى لأمراض القلب في الإنسان ، ولإيضاح ذلك فكما ذكرنا أن الليسوسومات تطلق إنزيماتها لتحطيم الخلايا الميتة وإذا فقد موت بعض أو جزء من خلايا عضلة القلب فإن الليسوسومات تحرر إنزيماتها لتحطيم هذه الخلايا ويستكمل الأطباء على موت بعض خلايا عضلة القلب عن طريق تقدير هذه الإنزيمات في بلازما الدم (لاحظ أنه في حالات السبلوبات القلبية Heart attacks تموت بعض خلايا عضلة القلب وتحرر منها الإنزيمات الهاضمة). بالإضافة إلى ذلك فهناك أمراض أخرى عديدة يمكن رصدتها أو اكتشافها عن طريق قياس مستوى إنزيمات الليسوسومات في الدم .

الميتوكوندريا : Mitochondria

الميتوكوندريا تدل على جمع للميتوكوندريون Mitochondrion المفرد . والميتوكوندريا تقوم بإنتاج حاملات الطاقة ATP من خلال عمليات التنفس الخلوى Cellular respiration . وتعتبر الميتوكوندريا المكان الرئيسى لإنتاج الطاقة في الخلية (لاحظ أن هناك جزء من الطاقة يتم إنتاجه في

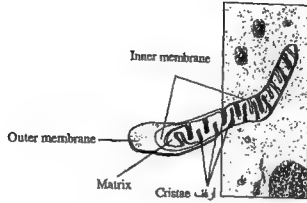
الميتوزول وهي عملية تحلل السكر Glycolysis على سبيل المثال) . والطاقة الناتجة من الميتوكوندريا تستخدمها الخلايا لأسباب عديدة منها تخليق المركبات الكيميائية نقل الجزيئات عبر أغشية لخلايا- الانقسام- الانقباض الخ .

وهناك إعتقاد سائد بين بعض علماء البيولوجى والفلاسفة وهو أن الميتوكوندريا عبارة عن خلايا بكتيرية تعيش معيشة تكافلية (تبادل منفعة) مع الخلية مميزة اللواة سواء كانت حيوانية أو نباتية ونتج ذلك عن طريق التطور الخلوى Cellular evolution ويؤيد هذا الاعتقاد أن ١- الميتوكوندريا تنقسم بطريقة مشابهة للطريقة التى تنقسم بها البكتريا ٢- تحتوى الميتوكوندريا على الحامض النووى DNA مثل الموجود في البكتريا ٣- أن الميتوكوندريا قادرة على إنتاج البروتين الخاص بها ٤- تحتوى الميتوكوندريا على ريبوسومات Ribosomes مشابهة لتلك الموجودة في البكتريا . وكل هذه التشابهات وتشابهات أخرى جعلت هذه المجموعة من العلماء تعتقد أن الميتوكوندريا ما هي إلا أجسام غريبة تعيش معيشة تكافلية مع الخلية مميزة اللواة Eukaryotic cell . ولكن هذا الإعتقاد في نظرى وفي نظر مجموعة أخرى من العلماء خاطئ وذلك لأن الأصل نسي وجود الخلية هو الكائن وليست الخلية (في الكائنات عديدة الخلايا مثل الإنسان والحيوان مثلا) وبالتالي إنشأى ظهر أولا هو الإنسان الكامل أو الحيوان الكامل ولم يكن الظهور الأول للخلية ونشأ منها الإنسان ولكن الظهور الأول كان للإنسان الكامل بكل ما يحتويه من خلايا والتي يحتوى معظمها تقريبا على ميتوكوندريا ، وعدد تكوين الإنسان للجاميطات توجد الميتوكوندريا في البويضة وفي ذيل الحيوان المنوى ثم تستمر الميتوكوندريا الموجودة في البويضة في الازيجوت الذى ينقسم ويتطور إلى إنسان كامل . والدليل على وجود الإنسان أولا وليست الخلية هو ما أفادنا به القرآن الكريم في الآيات الكريمة التالية:- "إذا قال ربك للملائكة إني جاعل في الأرض خليفة" ثم بعد أن خلقه وخلق أم البشرية حواء (في مكان آخر غير الأرض لا يعلمه إلا هو سبحانه وتعالى) قال عز وجل: "وقلنا يا آدم اسكن أنت وزوجك الجنة" وحتى ذلك الحين لم يكن سيدنا آدم وصل هو وأما حواء إلى الأرض . ثم بعد ذلك خاطبهم الله سبحانه وتعالى هم وإيليس وقال "إهبطوا منها جميعا بعضكم لبعض عدو" وبالتالي فلهبوط للأرض كان لسيدنا آدم وأما حواء وليس هبوط للخلية حتى تتكاثر مع بكتريا وتنتج نسل . وبالتالي فهذا يؤكد أن الميتوكوندريا ليست إلا عضيد Organelle يودى وظيفة هامة داخل الخلية ألا وهى إنتاج الطاقة وتحولاتها . وهناك أربع خطوات يتم فيها إنتاج الطاقة في الخلية . الخطوة الأولى وهي عملية تحلل الجلوكوز Glycolysis والتي تتم في الميتوزول Cytosol أما

الثلاثة خطوات الباقية وهى السقافل الإنشغالى ودورة كريس ونظام نقل الإليكترون فتم فى الميتوكوندريا (سوف يأتى شرح ذلك بالتفصيل فى الباب الرابع بآئن الله) .

والميتوكوندريا توجد تقريبا فى كل الخلايا مميزة لنواة Eukaryotic cells مثل خلايا النبات والحيوان والطحالب .
أخ. والميتوكوندريا هى مواقع التنفس الهوائى للخلية Aerobic cellular respiration والتنفس الهوائى هو عملية تحتوى على معظم للتفاعلات التى تحول الطاقة الكيميائية الموجودة فى جزيئات الغذاء إلى ATP . وتنفس الخلية الهوائى يحتاج إلى الأكسجين ويحدث فيه إفراز لسرات للكربون الموجودة فى جزيئات الغذاء والتى تخرج من الخلية فى صورة ثانى أكسيد الكربون Carbon dioxide كمخلف ناتج عن عملية التنفس الهوائى . والميتوكوندريا تكون موجودة بكثرة فى الخلايا عالية النشاط والتى تحتاج إلى طاقة عالية . وعلى سبيل المثال فىوجد أكثر من ١٠٠٠ ميتوكوندريا فى الخلية الكبدية المفردة . والميتوكوندريا تختلف أيضا فى الحجم فطولها يتراوح بين ٢-٨ ميكرون ولها المقدرة على تغيير شكلها وحجمها بسرعة ، وهى تنمو وتنقسم لتكون ميتوكوندريا أخرى داخل الخلية . وكل ميتوكوندريون Mitochondrion شكل (٣-١٤) محاط بغشاء مزدوج . هذا الغشاء المزدوج يسبب ظهور مكونين داخل الميتوكوندريا هما:- المكون الأول وهو الفراغ بين الغشائين The intermembrane space وهو المكون الموجود بين لغشاء الخارجى والغشاء الداخلى للميتوكوندريون والمكون الثانى وهو مادة الميتوكوندريا Mitochondrial matrix وهو المكون الموجود داخل الغشاء الداخلى للميتوكوندريا Inner mitochondrial membrane .

والغشاء الخارجى للميتوكوندريون Mitochondrial outer membrane ناعم وفى بعض الأحيان يشبه المنخل Sieve ويأتلى فهو يسمح بمرور الجزيئات الصغيرة (مثل جزيئ البيروفات) من خلاله . أما الغشاء الداخلى للميتوكوندريون Mitochondrial inner membrane فهو ينظم وبطريقة عالية فى النفاذ مرور الجزيئات من خلاله . وينشأ غشاء الميتوكوندريون الداخلى عدة مرات ليكون نتوءات يطلق عليها الأعراف Cristae أما مفردا فهو عرف Crista . هذه الأعراف تسبب زيادة مساحة المسطح الداخلى لغشاء الميتوكوندريون . أما مادة الميتوكوندريون Mitochondrial matrix فهى مكون يحتوى على الإنزيمات التى تقوم بتكسير جزيئات الغذاء وتحويل طاقة هذه الجزيئات إلى صورة أخرى من الطاقة الكيميائية . energy



شكل ١-٢: الميتوكوندريا هي مركز للتنفس الهوائي . والشكل يوضح النسبة ما بين الغشاء الداخلي والغشاء الخارجي في الميتوكوندريون Mitochondrion

ويجدر الإشارة أن الغشاء الداخلي للميتوكوندريون يحتوي على نظم إنزيمية معقدة ومتعلقة بمرمض البروتينات الأخرى وللذان عن طريقهما يتم تحويل الطاقة الكيميائية في جزيئات الغذاء إلى طاقة موجودة في حاملات الطاقة ATP (يرجع الباب الرابع) .

الأجسام المجهرية (بالغة الصغر) Microbodies: هذه الأجسام عبارة عن مكونات خاصة بالتفاعلات الكيميائية . فهي عبارة عن أنواع متعددة من العضيات المغلفة بغشاء Membrane-bounded organelles تحتوى على عدد من الإنزيمات المختلفة ولتي تحفز مجموعة كبيرة من تفاعلات الأيض Metabolic reactions . وتوجد هذه الأجسام في الخلايا الحيوانية والخلايا النباتية .

ولبناء عملية تكسير (هضم) الليبيدات Lipids وفوق أكسيد الهيدروجين Hydrogen peroxide (H_2O_2) تتكون مادة سامة Toxic للخلية . وتحدث عملية التكسير Breakdown هذه في Microbodies يطلق عليها اسم Peroxisomes والتي تحتوى أيضا على إنزيمات تقوم بشق Split (فصل مكونات) فوق أكسيد الهيدروجين وتجعله غير سام أو ضار . والـ Peroxisomes الموجود بخلايا الكبد Liver والكلى Kidney تعتبر هامة حيث تقوم بإزالة سموم بعض المركبات مثل الإيثانول والكحول في الأشخاص ممنلى الكحولات .

الهيكـل الخـلوى The Cytoskeleton: كل الخلايا مميزة للنواة Eukaryotic cells سواء كانت نباتية أم حيوانية تحتوى على هيكـل خلوى . فالتاء لفحص الدقيق لخلايا مأخوذة من أنسجة حيوانية مختلفة أثناء نموها في المعمل وجد أنها تغير شكلها وفى أحيان كثيرة تتحرك قليلا . والشئ الذى يحدد شكل الخلية وقابليتها للحركة هو الهيكـل الخلوى Cytoskeleton وهو عبارة عن شبكة معقدة من الألياف البروتينية Protein fibers توجد لدخل كل الخلايا مميزة للنواة . ومصطلح الهيكـل الخلوى Cytoskeleton مضال بعض الشئ حيث يتضمن أو يوحي أنه تركيب ساكن غير متحرك Static structure بينما الهيكـل الخلوى فى مجمله على الديناميكية Highly dynamic وفى حالة تغير دائم .

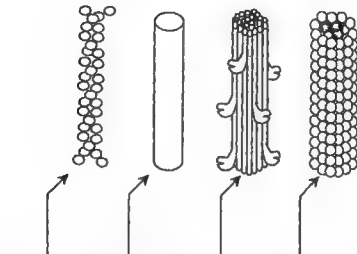
والألياف البروتينية التى تكون بنية الهيكـل الخلوى يمكن تقسيمها تبعاً لتناسب أحجامها . فهناك نوعين رئيسيين هما المكونان للهيكـل الخلوى فى كل الخلايا مميزة للنواة هما:- الخيوط الرفيعة Microfilaments ويطلق عليهم أيضاً خيوط الأكتين Actin filaments (شكل ٢-١٥) وقطر هذه الخيوط ٧ نانومتر . والثانى الأنابيب الدقيقة Microtubules وقطرها ٢٥ نانومتر (شكل ٣-١٥). وكلا من الخيوط الرفيعة والأنابيب الدقيقة عبارة عن ألياف مكونة من كريات على شكل الخرز من البروتين والتي تستطيع أن تتجمع وتنفرد بسرعة .

وبالرغم من أن هذين النوعين هما المكونان الرئيسيان للهيكـل الخلوى إلا أنهما لهما دور فى تكوين بعض التراكيب الخلوية التى تساهم فى الحركة والتمتعـس الخلوى . هذا وفى عديد من الخلايا الحيوانية نجد هناك نوع ثالث من الخيوط وهى الخيوط الوسطية Intermediate filaments (شكل ٣-١٥) ولها قطر من ٨-١٠ نانومتر وهى تتكون من بروتين ليفى Fibrous protein وبالتالي فهى مستقرة أى تولى من كلا من الخيوط الرفيعة والأنابيب الدقيقة .

والأنابيب الدقيقة Microtubules عبارة عن سلندرات (سطرات) مجوفة Hollow cylinders تـلـمـر عن طريق إنضاق تحت وحدتين من بروتين يطلق عليه Tubulin . والأنابيب الدقيقة يمكن تفريق Disassembled تحت الوحدتين المكونتين لها والتان يمكن إعادة تجميعهما فى أنابيب دقيقة فى مواقع أخرى فى الخلية .

وتعتبر الأنابيب الدقيقة Microtubules تراكيب متكيفة Adaptable بدرجة كبيرة داخل الخلية . وبالإضافة إلى أنها تلعب دور أساسى فى تكوين الهيكـل الخلوى فهى أيضاً تلعب دور فى حركة الكروموسومات أثناء إنقسام الخلية . والأنابيب الدقيقة تعتبر أيضاً مكونات تركيبية رئيسية فى

كلا من الأهداب *Cilia* والأسواط *Flagella* (لاحظ أن الأهداب والأسواط عضليات مختصة بالحركة في الخلية . فالأهداب توجد على أسطح الخلايا وتحرك للسوائل إلى أعلا ، والأسواط هي زيول لحيوانات المنوية والتي تسبب الحركة التقدمية للحيوان المنوي) .

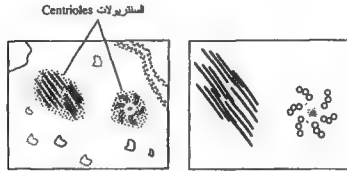


Microfilament خيط دقيق	Intermediate filament خيط وسطي	Muscle thick filament خيط عضلي سميك	Microtubule الأنابيب الدقيقة	Cytoskeletal filaments خيط الهيكل الخلوي
7	10	15	25	<u>Diameter, nm</u> القطر بالنانومتر
Actin أكتين	Several proteins عديد من البروتينات	Myosin الميوسين	Tubulin توبيولين	Protein subunit تحت وحدات البروتين المكونة للخيط

شكل ٣-١٥ : الشكل يوضح الخيوط المكونة للهيكل الخلوي والتي تشارك في إظهار شكل الخلية وحركتها .

وجدير بالذكر أن الأنابيب الدقيقة لدى تسمى كبنية الهيكل الخلوي أو لأن تشارك في حركة الخلية يجب أن تثبت لأجزاء أخرى من الخلية ولذلك فهي دائما تمتد من مكان في الخلية يطلق عليه مركز الخلية *The cell center* أو *Microtubule-organizing center (MTOC)* .

ويتزامن أو ينضم مع الـ Microtubule organizing center في معظم الخلايا الحيوانية
تركيبان يسميان السنتريولات Centrioles (شكل ٣-١٦) . وهذه السنتريولات يطلق عليها تركيب
٣×٩ structures وهي توجد على الزاوية اليمنى بالنسبة لبعضها البعض . وتتكون من تسع
مجموعات كل مجموعة مكونة من ثلاثة أنابيب دقيقة تتراص لتكون إسطوانة فارغة Hollow
cylinder . وهذه السنتريولات يحدث لها تضاعف قبل انقسام الخلية ، ويمكن أن يكون لها دور في
عملية تجميع الأنابيب الدقيقة Microtubules . ويمكن أن يكون دورها غير ضروري بالنسبة لتجميع
هذه الأنابيب ، لما بالنسبة لتخصص السنتريول الوظيفي فهو غير معروف حتى الآن .

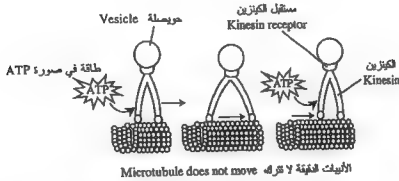


شكل ٣-١٦: الشكل يوضح أن زوج السنتريولات يوجد كلا منهما على الزاوية اليمنى للأخر بالقرب من ثلثة
خلية لا تنقسم .

وقابلية اللقبات الدقيقة للتجمع والتفريق بسرعة يمكن رؤيتها أثناء عملية انقسام الخلايا حيث
يظهر تكسير Breakdown واضح لجزء كبير من الهيكل الخلوي . وجزء كبير من تحت وحدتي
البروتين المكون للأنابيب الدقيقة (Tubulin) يعود ليتجمع في تركيب آخر يسمى المغزل Spindle
والذي يعمل كبنية أساسية لتوزيع الكروموسومات عند انقسام الخلية .

والأنابيب الدقيقة تعمل أيضا كخريطة Traks على طول الإكسهاين اللذان تتحرك إليهما
العضيات إلى جانبي الخلية فتصبح كلا من الميتوكوندريا والحوبيصلات الناقلة والحوبيصلات المعززة
وبعض العضيات الأخرى متصلة بالأنابيب الدقيقة . وفي هذه الحالة فجميع هؤلاء ينتقلوا إلى جانبي
الخلية على طول شبكة الأنابيب الدقيقة بواسطة ATP-requiring protein والذي يعمل كقوة
محركة . ومن أمثلة البروتينات التي تعمل كقوة محرك Motor proteins بروتيني يسمى Kinesin

وهذا البروتين يقوم بتحريك العضيد Organelle على طول الأنابيب الدقيقة من نهايتها السالبة Minus ends إلى نهايتها الموجبة Plus ends دون أن تتحرك هذه الأنابيب (شكل ٣-١٧) . وهناك بروتين محرك آخر يطلق عليه Dynein وقد وجد أنه يقوم بتحريك الحويصلات في الاتجاه المعاكس من النهايات الموجبة إلى النهايات السالبة .



شكل ٣-١٧: رسم تخطيطي يوضح نظرية إقراضة البروتين المحرك كينيزين Kinesin motor فجزي الكينيزين يرتبط بمستقبل متخصص على الحويصلة Vesicle . ويقوم حمل الطاقة ATP بالسماح لجزي الكينيزين بتغيير شكله ويسير على طول الأنابيب الدقيقة حملًا معه الحويصلة مع ملاحظة أن الأنابيب الدقيقة لا تتحرك .

الأهداب والأسواط : Cilia and Flagella

الأهداب والأسواط عبارة عن أنابيب دقيقة Microtubules تحتوي في داخلها على تركيب تستخدم في حركة الخلية . وهي تظهر كبروزات أو نتوءات من أسطح عديد من الخلايا . وهي تركيب رفيعة قادرة على الحركة وتقوم بعمل ضربات حركية . فلو كانت الخلية تحتوي على واحد أو عدد قليل من هذه النتوءات وكانت هذه النتوءات طويلة نسبيًا بالنسبة لحجم الخلية سميت أسواط Flagella . ومفردا سوط Flagellum . أما لو كانت الخلية تحتوي على نتوءات قصيرة وباعداد كبيرة سميت أهداب Cilia . ومفردا هذب Cilium . ومن أمثلة الأسواط هو الذئيل الموجود في الحيوان المنوى حيث يقوم هذا الذئيل بعمل ضربات لأعلى وأسفل وفي اتجاهات مختلفة مما يسبب دفع الحيوان المنوى للأمام وهو ما يعرف بالحركة التقدمية Advanced motility للحيوان المنوى وبالتالي فالأسواط تسبب حركة الخلايا داخل الموائل . أما الأهداب فمن أمثلتها الأهداب الموجودة على الخلايا طلائية Epithelial cells المبطنة للقصبة الهوائية وهي تتحرك من أسفل لأعلى وبالتالي فالأهداب تسبب

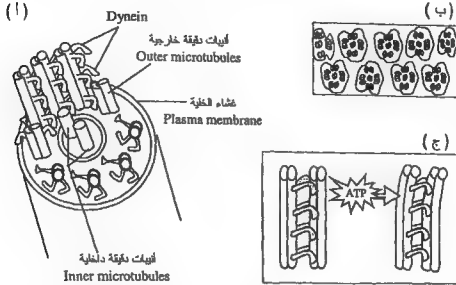
تحريك السوائل على أسطح الخلايا . وهو ما يحدث في حالة طرد البلغم من القصبة الهوائية في الإنسان . واسواط وأهداب الخلايا مميزة النواة لها تركيب متشابه فكلما يتكون من عصا أسطوانية موجودة على سطح الخلية ومغلقة بامتداد غشاء الخلية . ووسط هذه الأسطوانة يحوى على مجموعة من تسعة من الأنابيب الدقيقة Microtubules موجوده في أزواج مترابطة في محيط الأسطوانة (شكل ١٨-٢) بالإضافة إلى زوج من الأنابيب الدقيقة المفردة موجودة في المركز (شكل ١٨-٣) . وهذا الترتيب ٢+٩ تنصف به كل الأهداب والاسواط للخلايا مميزة للنواة All eukaryotic cilia and flagella . وحركة الأهداب والاسواط تتم عن طريق إنزلاق أزواج الأنابيب الدقيقة خلف بعضها البعض . والقوة التي تسبب هذا الإنزلاق تتولد عن طريق بروتينات تسمى Dynein proteins والتي تكون متصلة بالأنابيب الدقيقة في شكل أزواج صغيرة . والطاقة المنتجة من حمل الطاقة ATP تسبب تغير في شكل زوج من هذه الأنابيب الدقيقة ومسيره على طول الزوج المجاور له (شكل ١٨-٣) . وبالتالي فالأنابيب الدقيقة في أحد أوجه الهدب أو السوط تمتد إلى بعد في اتجاه الطرف (الرأس) عن الأنابيب الدقيقة الموجودة في الوجه المقابل . وهناك مكون آخر لهذا النظام الحركي وهو يقوم بعملية تقيديه (منسبط الحركة بطريقة معينة) حيث يسبب تحويل (إثرجمة) نسبة حركة القمة إلى القاعدة في الأنابيب الدقيقة إلى حركة إتناوآ ظهرية صاعدة (شكل ١٨-٣ على اليمين) . وفي قاعدة الهدب Cilium أو السوط Flagellum يوجد الجسم القاعى Basal body والذي يتكون من تسع مجموعات كل مجموعة مكونة من ثلاث أنابيب دقيقة موجودة في نظام أسطواني (شكل ١٦-٢) .

الخيوط الرفيعة : Microfilaments الخيوط الرفيعة تتكون من خيوط مجنولة من بروتين الأكتين Actin وبروتينات مشتركة مع الأكتين Actin-associated proteins (راجع لجهاز العضلى -الباب الرابع عشر) .

الخيوط الوسطية : Intermediate Filaments

هذه الخيوط لها وظيفة أساسية وهى المساعدة على استقرار شكل الخلية . وهذه الخيوط توجد متجمعة مع بعضها وجامدة وهى تتكون من عديدات الببتيد Polypeptides والتي تختلف كثيرا في الحجم باختلاف نوع الخلية ونوع الحيوان نفسه . ويعتقد أن هذه الألياف تساعد على تقوية متانة الهيكل الخلوى حيث تكون موجودة بكثرة في أجزاء الخلية المعرضة للضغط الميكانيكى . وتجمع هذه الألياف غير عكسي بمعنى أنها لا تتفرق مرة أخرى و الخلايا يمكنها التحكم في تغيير طول هذه الألياف الوسطية عن طريق استخدام إنزيمات لتفطيع عديدات الببتيد إلى أجزاء صغيرة . أما بالنسبة لوظيفة

هذه الخيوط الوسطية فلا يوجد وظيفة معروفة لها حتى الآن أكثر من الوظيفة التركيبية Structural role لها بالمصبة للخلاية .



شكل ٣-١: الشكل على اليسار يوضح أن الهدب Cilium يحتوي على أذيت دقيقة Microtubules موجودة في نظام ٢+٩ . وهذا الشكل ثلاثي الأبعاد يوضح التسمية لأزواج المتصلة من الأذيت الدقيقة والموجودة في محيط الأسطوانة بالإضافة إلى الأوبيتين المفردتين الأخير متصلتين في المركز . ويوضح الشكل على اليمين أن البروتين المراد للطاقة يستخدم حامل الطاقة ATP ليسبب إتواء الهدب إلى أعلا وإلى أسفل .

للمساعدة للبيئة الخلوية : **An Extracellular Matrix** هذه المادة تحيط بمعظم الخلايا وكما علمنا في الباب الثاني فالخلايا جميعها محاطة بغشاء الخلية Plasma membrane . لكن معظم الخلايا تحاط بسطاء من إرلازات الخلية يوجد خارج غشاء البلازما . فعدد من هذه الخلايا الحيوانية تفرز بروتينات وسكريات عديدة ترتبط بالطبقة الخارجية لغشاء الخلية وتملأ المسافات بين الخلايا داخل الأنسجة مكونة غطاء يسمى جليكوكالكس Glycocalyx وهو عبارة عن غطاء يتكون من سلاسل من السكريات العديدة بالإضافة إلى بعض مكونات غشاء الخلية من الليبيدات والبروتينات . وعدد من هذه الجزيئات المكونة للجليكوكالكس Glycocalyx يحتوي على مواقع لشحنات سالبة . وفي عدد من الخلايا يلعب هذا الغطاء دور في نظم الاتصال الخلوي ونظم التميز الخلوي أيضا ، بالإضافة إلى أنه يزيد قوة ومثانة الخلايا المكونة للنسيج وبالتالي قوة ومثانة النسيج نفسه .

الباب الرابع

الطاقة وعمليات البناء والهدم الخلوي (الأيض)

Energy And Cellular Metabolism

مقدمة Introduction : تحدث بخلايا الجسم في كل عدة ثوانٍ آلاف التفاعلات الكيميائية Chemical reactions هذه التفاعلات تشمل عمليتين رئيسيتين هما البناء Anabolism والهدم Catabolism. وعمليات البناء والهدم في الخلية تسمى في مجملها بالأيض الخلوي Cellular metabolism حيث تطلق كلمة أيض باللغة العربية لتمبر عن كلا من عمليات البناء والهدم Metabolism. وعمليات البناء Anabolism تتضمن بناء أو تصنيع كل الجزيئات والمركبات المضوية التي تحتاجها الخلايا لبناء مكوناتها والتي تحتاجها أيضا للقيام بكل وظائفها. أما عملية الهدم Catabolism فهي العملية التي يتم فيها هدم الجزيئات بالخلية بغرض إنتاج الطاقة Energy التي تحتاجها الخلية لكي تستطيع أداء وظائفها على الوجه الأكمل.

وأثناء مراحل النمو في كلاً من الإنسان والحيوان تزداد معدلات عمليات البناء عن معدلات عمليات الهدم أما بعد وصول هذا الإنسان أو الحيوان إلى تمام النمو Adult فهذا غالبا ما تتساوى معدلات عمليات البناء مع معدلات عمليات الهدم.

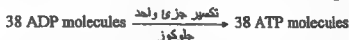
وهناك أربع مظاهر (سمات) رئيسية لعمليات البناء والهدم الخلوي وهي :-
١- العوامل التي تنشط أو تثبط معدلات التفاعلات الكيميائية بالخلية. -٢- تنظيم نشاط النظم الإنزيمية والدور الذي تقوم به الإنزيمات في تنشيط للتفاعلات الكيميائية والإسراع منها -٣- الطرق الكيميائية الحيوية Biochemical pathways التي تسلكها الكربوهيدرات والدهون والبروتينات حينما يتم هدمها لإنتاج الطاقة -٤- وأيضا الطرق الكيميائية الحيوية التي يتم عن طريقها بناء (تخليق) كلاً من الكربوهيدرات والدهون والبروتينات.

الطاقة وعمليات البناء والهدم (الأيض) Energy and Metabolism الخلايا تأخذ إحتياجاتها من الطاقة عن طريق تكسير الكربوهيدرات (غالبا الجلوكوز) والجليسريدات الثلاثية (الدهون) وأحيانا تضطر الخلايا إلى أخذ الطاقة من البروتين وفي هذا الجزء سوف نتحدث عن كيفية حصول الإنسان والحيوان على الطاقة من الجلوكوز وقبل أن نبدأ يجب أن نعلم أن الطاقة موجودة في الجلوكوز في الروابط التساهمية التي تربط ذرات الجزئ في مكانها. وخطوات هدم الجلوكوز تحدث في الميتوكوندريا وتستكمل في الميتوكوندريا وتسمى هذه الخطوات (التنفس الخلوي Cellular respiration) لأنها تأخذ

الأكسجين وتطرد ثاني أكسيد الكربون ولقاء التنفس الخلوى Cellular respiration يتكسر جزئى الجلوكوز إلى ٦ جزيئات ثنائى أكسيد الكربون و٦ جزيئات ماء حسب المعادلة التالية.

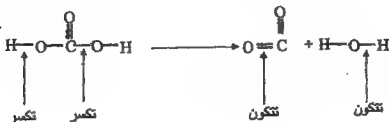


وبما أن تكسير الجلوكوز يحتاج إلى أكسجين ومعروف أن مصدر الأكسجين هو النبات من عمليات التمثيل الضوئى وهذه العملية لازمة وضرورية للحياة حيث أن تكسير الجلوكوز يعطينا كمية كبيرة من الطاقة والتفاعل الذى يعطى طاقة يسمى Exergonic reaction (منتج طاقة). والطاقة المنتجة من جزئى الجلوكوز يمكن تخزينها فى صورة ATP (تخليق ATP من الفوسفات الغير عضوى والـ ADP) وتسمى هذه العملية Endergonic reaction وجزئى واحد من الجلوكوز يكفى لتكوين ٣٨ جزئى ATP من ADP.



وهنا يجب أن نسال لماذا تخزن الطاقة فى صورة ATP والإجابة بسيطة حيث يمكن إستخدام الطاقة المخزنة فى صورة ATP ولا يمكن إستخدام الطاقة المخزنة فى صورة جلوكوز. ولفهم السمات الأربعة الرئيسية لعمليات البناء وللهدم يجب أن نسررد أولاً بعض خصائص التفاعلات الكيميائية والبيوكيميائية.

التفاعلات الكيميائية Chemical Reactions : التفاعلات الكيميائية تشمل تكسير الجزيئات الداخلة فى التفاعل عن طريق تكسير الروابط الكيميائية ثم تكوين روابط كيميائية جديدة لتكوين جزيئات من نواتج التكسير السابق ومثالاً لذلك التفاعل الكيميائى الخاص بحمض الكربونيك لتكوين ثنائى أكسيد كبريت وماء.



وفي هذا التفاعل تكون مركبين من مركب واحد وطبعاً فالطاقة الموجودة في المركب تختلف عن الطاقة الموجودة في المركبين. ومن المعروف أن الطاقة لا تخلق ولا تخلق من عدم ولذلك فهي أي تفاعل كيميائي إما أن يحدث إستصااص للطاقة أو يحدث طرد لها. وفي التفاعل السابق نجد أن محتوى حمض الكربونيك من الطاقة = ١٥٥ كيلو كالورى لكل مول (155 kcal/mol) وهذا المحتوى أصلاً من مجموع محتويات الطاقة في كلا من ثاني أكسيد الكربون (٩٤ كيلو كالورى لكل مول 94 kcal/mol) والماء (٥٧ كيلو كالورى لكل مول 57 kcal/mol). حيث مجموع الطاقة في الجزيئين معا يعادل ١٥١ كيلو كالورى. وبالتالي فهي التفاعل السابق يتم طرد ٤ كيلو كالورى من الطاقة لكل مول حمض كربونيك.

ويجدر الإشارة أن الطاقة المطروقة تظهر في صورة حرارة وتُقاس بالكالورى. ويعرف الكالورى بأنه كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء درجة مئوية واحدة ويعرف هذا بالكالورى الصغير. أما الكيلو كالورى Kcal فهو عبارة عن ١٠٠٠ كالورى صغير. وبالتالي فالكيلو كالورى Kcal هو عبارة عن كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة لتر من الماء درجة مئوية واحدة.

ضوابط سرعة (أو معدلات) التفاعلات الكيميائية Determinants Of Chemical Reaction Rates : معدل التفاعل الكيميائي أو سرعة هذا التفاعل الكيميائي يتم تحديده عن طريقين الأول وهو معدلات زيادة المواد الناتجة من التفاعل والثاني وهو معدلات نقص المواد الداخلة في التفاعل فكلما زادت تركيزات المواد الناتجة من التفاعل أو كلما نقصت تركيزات المواد الداخلة في التفاعل كلما دل ذلك على زيادة سرعة التفاعل وهناك أربع عوامل مؤثرة في معدلات التفاعل وهي : ١- تركيزات المواد المتفاعلة **Reactant concentrations** فكلما ازداد تركيز المواد المتفاعلة كلما ازداد معدل التفاعل والعكس صحيح. والسبب في ذلك هو أن نقص التركيز يبنى نقص عدد الجزيئات المتاحة للدخول في هذا التفاعل. ٢- الطاقة (المنشطة) **Activation Energy** وهى عبارة عن كمية الطاقة اللازم أن تكتسبها الجزيئات وتكون كافية لتصبح هذه الجزيئات منشطة. وبالتالي كلما زادت الكمية الكافية من الطاقة للتشيطية كلما كان التفاعل أبطأ. هذا ويتم الحصول على الطاقة التشيطية في معظم العمليات الأرضية عندما تصطدم جزيئات المواد المتفاعلة مع بعضها. ولهذه الأسباب يرجع السبب في عدم تساوى معدلات التفاعلات الكيميائية بالرغم من بده التفاعل بتركيزات متماثلة في بعض الأحيان. ٣- درجة الحرارة **Temperature** ويرتفاع درجة الحرارة يمسبب سرعة حركة الجزيئات وعندما تصطدم هذه الجزيئات مع بعضها تصبح أكثر إندماجاً وبالتالي تزداد سرعة

معدلات التفاعل. أى أنه كلما إنداشت درجة الحرارة كلما إنداشت سرعة معدلات التفاعل. -٤-
المحفزات Catalysts المحفز يدخل التفاعل ويسبب تنشيطه وزيادة معدلات سرعة التفاعل عن طريق تدخله مع المادة الداخلة فى التفاعل بطريقة تغير من توزيع الطاقة بين روابطه الكيميائية حيث يؤدي ذلك إلى تقليل كمية الطاقة التنشيطية اللازمة لتحويل المادة المتفاعلة إلى نواتج. وجدير بالذكر أن التفاعل الكيميائى لا يؤدي إلى تغير فى التركيب الكيميائى للمحفز ولذلك يمكن للجسم إعادة استعمال المحفز عدة مرات، كما أن المحفز أيضاً لا يسبب تغير الفرق فى محتوى الطاقة بين المواد المتفاعلة والنواتج كما هو موضح بالتفاعل التالى : محفز + A \longrightarrow محفز + B + C.

لتفاعلات العكسية والتفاعلات غير العكسية Reversible And Irreversible Reactions: فى كل تفاعل كيميائى يوجد تفاعلين فى نفس الوقت هما : تفاعل أمامى **Forward** وفيه يتم تحويل المواد المتفاعلة إلى نواتج، تفاعل عكسى **Reverse** حيث من خلاله يتم تحويل النواتج عكسياً إلى مواد التفاعل الأصلية. هذا والتفاعل الأمامى والتفاعل العكسى ككل يطلق عليهم فى مجموعهم تفاعل عكسى **Reverse reaction** ومن أمثلة هذا التفاعل هو مثال حمض الكبرونيك السابق ذكره



وهذا نلاحظ أنه فى التفاعل الأخير يلزم إضافة أربعة كيلو كالورى لكل مول حتى يمكن تكوين حمض الكبرونيك وهذه الطاقة ليست طاقة تنشيطية ولكنها جزء مكمل لميزان الطاقة. هذا ويحبر عن التفاعل العكسى بالمعادلة التالية :

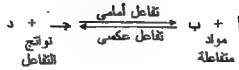


وهناك علاقة عكسية بين إتجاهى التفاعل فكل معدل التفاعل الأمامى كلما نقص تركيز المواد المتفاعلة كما يزداد معدل التفاعل العكسى كلما إنداد تركيز الجزيئات الناتجة. وبعد فترة من الوقت يصل التفاعل إلى حالة تسمى بالإتزان الكيميائى **Chemical equilibrium** وفى هذه الحالة تتساوى معدلات التفاعل الأمامى مع معدلات التفاعل العكسى وبالتالي فعند هذه النقطة تبقى تركيزات المواد المتفاعلة والمواد الناتجة ثابتة لا تتغير بالرغم من استمرار التفاعل. لكن هذا لا يعنى أنه من الضرورى

أن يكون تركيز نواتج التفاعل مساوياً لتركيز المواد المتفاعلة وذلك حيث أنه عند الإتران تعتمد النسبة بين تركيز النواتج إلى تركيز المواد المتفاعلة على كمية الطاقة المحررة (المطرودة) أو الطاقة الممتصة خلال التفاعل. والسبب في ذلك أنه بزيادة كمية الطاقة المحررة (المطرودة) يقل احتمال حصول جزيئات المركبات الناتجة على الطاقة اللازمة لها لتتحول عكسياً إلى مواد التفاعل. وبالتالي ففي هذه الحالة سوف تكون النسبة بين تركيزات المواد الداخلة في التفاعل وتركيزات نواتج التفاعل كبيرة جداً. أما في حالة بلوغ الإتران الكيميائي مع عدم وجود فرق في محتوى الطاقة بين المواد المتفاعلة والنواتج ففي هذه الحالة يتساوى تركيز المواد المتفاعلة مع نواتج التفاعل. وفي حالة طرد كمية قليلة من الطاقة تعادل واحد كيلو كالورى أو أقل يكون تركيز جزيئات النواتج عند الإتران بين ١ إلى ١٠ أضعاف تركيز جزيئات المواد المتفاعلة، لكن عند طرد كمية كبيرة من الطاقة تعادل أربعة كيلو كالورى فيصبح تركيز جزيئات نواتج التفاعل ألف ضعف تركيز المواد المتفاعلة وهذا هو سبب وجود التفاعل العكسي والتفاعل غير العكسي. فعلى الرغم من أن كل التفاعلات الكيميائية تعتبر غالباً تفاعلات عكسية إلا أن التفاعلات الطاردة لكميات كبيرة من الطاقة تعتبر تفاعلات غير عكسية Irreversible reactions أى أنه عند بلوغ الإتران الكيميائي يتم تقريباً تحويل كل الجزيئات الداخلة في التفاعل إلى جزيئات النواتج ويوضح ذلك الجدول التالي :

نوع التفاعل	التفاعل وملاحظات عليه
تفاعل عكسي Reversible reaction	$A + B \rightleftharpoons C + D + \text{كمية قليلة من الطاقة}$ عند حدوث الإتران الكيميائي في هذا التفاعل تكون تركيزات الجزيئات الناتجة من التفاعل أعلا قليلاً من تركيزات مواد التفاعل.
تفاعل غير عكسي Irreversible reaction	$H + S \longrightarrow C + S + \text{كمية كبيرة من الطاقة}$ عند حدوث الإتران الكيميائي في هذا التفاعل يكون تقريباً كل الجزيئات الداخلة في التفاعل تحولت إلى نواتج التفاعل.

قانون فعل الكتلة Law Of Mass Action : طمنا مما سبق أن لكلاً من تأثير تركيزات المواد الداخلة في التفاعل ونواتج هذا التفاعل أثر على الاتجاه الفعلي للتفاعل. هذا الأثر يسمى بقانون فعل الكتلة والذي يعتبر عامل رئيسي محدد في تنظيم فعل للتفاعل الأيضي (الميتابولزمي). وبالتالي فإننا نجد أن تركيز كلاً من المواد الداخلة في التفاعل ونواتج التفاعل تلعبان دوراً هاماً فى تحديد معدلات التفاعل الأمامية والعكسية وأيضاً الاتجاه الفعلي للأثر يستمر فيه التفاعل. فلو نظرنا إلى المعادلة الأيضية التالية :

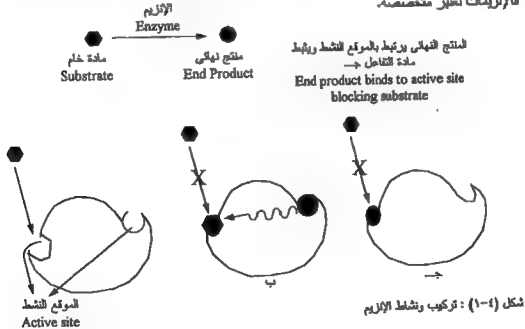


ففي هذا التفاعل لو زاد تركيز جزيئات نواتج التفاعل فهذا يدفع التفاعل إلى الاتجاه العكسي مما يسبب زيادة المواد المتفاعلة أما لو زاد تركيز المواد المتفاعلة فهو يسبب دفع التفاعل إلى الاتجاه الأمامي لزيادة نواتج التفاعل. كما يمكن أيضاً تغيير اتجاه التفاعل الفعلي بتغيير تركيز أحد المواد الدخلة في التفاعل.

Enzymes are : essential to virtually all chemical reactions occurring in the cell :

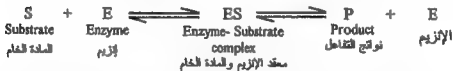
يجدر الإشارة هنا إلى أن كل تفاعل كيميائي في التنفس الخلوي Cellular respiration ينظمه إنزيم معين. والإنزيمات عبارة عن بروتينات تنشط للتفاعلات وعدم وجود إنزيم من إنزيمات التفاعل يوقف للتفاعل نفسه مثل عدم وجود عامل في خط إنتاج معين فتوقفه يؤثر على خط الإنتاج هذا.

وكل إنزيم يتكون من بروتين كبير Globular protein مع أجزاء نشطة صغيرة والذي يحدث فيه التفاعل الكيميائي. وشكل هذا الـ Active site مطابق للمادة الخام التي يعمل عليها Substrate (شكل ٤-١) أو للجزيئات التي سوف تقوم بالتفاعل. وبما أن كل إنزيم له أجزاء نشطة خاصة به لذلك فهو يستطيع أن يعمل على واحد أو على أقصى تقدير على قليل من المواد Substrates ولذلك فالإنزيمات تعتبر متخصصة.



وهذه الظاهرة تجعل الخلية تنظم تفاعلاتها الكيميائية وبالتالي إستدامة حالة الـ Homeostasis. والإنزيمات تدخل التفاعلات لكن عند خروجها من التفاعل تخرج منه دون أن يتغير تركيبها الكيميائي (تأخذ المجموعات الفعالة التي أعطتها للتفاعل قبل خروجها من التفاعل) ولذلك يمكن أن تستخدم مرة أو مرات عديدة. ويتحكم ميكانيزم الخلايا في عمل الإنزيمات حيث الناتج النهائي لعمل الإنزيم (التفاعل الكيميائي) يتحكم في الإنزيم نفسه عن طريق ارتباطه بالجزء المتحكم في الإنزيم والمسمى بالـ Allosteric site وعند ارتباط الناتج النهائي لعمل الإنزيم بالـ Allosteric site فهو يوقف عمل الإنزيم (شكل ٤-١) وفي بعض التفاعلات الكيميائية يقوم الناتج النهائي بالارتباط بالجزء النشط Active site في الإنزيم مباشرة ، وهذا الارتباط يمنع الـ Substrate من الارتباط بالإنزيم وبالتالي يوقف التفاعل.

والتنفس الخلوي Cellular respiration يتم التحكم فيه عن طريق بناء مواد كيميائية مثل الـ ATP & Citrate وكلهما يعملان على وقف نشاط الإنزيم المخصص لعملية الـ Glycolysis. ومعظم التفاعلات البيوكيميائية التي تحدث في جسم الإنسان أو الحيوان لو تم عملها في أنبوبة اختبار (بحيث يوضع في هذه الأنبوبة للمواد المتفاعلة) لثمت هذه التفاعلات بمعدلات بطيئة جداً وذلك لأنها تحتاج إلى طاقة تنشيطية عالية High activation energy. ولتحقيق معدلات تفاعل عالية كذلك التي تحدث في الكائنات الحية فيلزم وجود المحفزات Catalysts لتقليل هذه الطاقة التنشيطية. ومنشطات أو محفزات التفاعل هذه تسمى إنزيمات وهي عبارة عن بروتينات، لذا فهي تسمى بالمحفزات البروتينية Protein catalysts. ولكي تقوم هذه الإنزيمات بوظيفتها يلزم أن ترتبط بالمادة الخام التي تعمل عليها حيث يتكون معقد الإنزيم والمادة الخام معاً Enzyme-substrate complex والذي ينكسر مفرزاً نواتج التفاعل والإنزيم كما هو موضح بالمعادلة التالية :



وعمل الإنزيم ككل هو الإسراع في تحويل المادة الخام التي يعمل عليها substrate إلى نواتج وفي نهاية التفاعل يتحرر الإنزيم حيث يعمل مرة ثانية على مادة خام أخرى وهكذا. ويرتبط الإنزيم مع المادة الخام من خلال مواقع نشطة Active sites ، والمجاميع الكيميائية الفعالة في تلك المواقع هي التي تعطى التخصصية الكيميائية للإنزيم Enzyme chemical specificity. والإنزيم يسمى بإضافة المقطع ase لإسم المادة الخام التي يعمل عليها أو نوع التفاعل نفسه فمثلاً إنزيم تحويل ATP إلى

Cyclic AMP يسمى Adenyl cyclase وإزيم إضافة اليود للحمض الأملى Tyrosine يسمى lodenase. وفى الخلية المانية يوجد حوالى ٤٠٠٠ إزيم يقومون بعمل تفاعلات كيميائية مختلفة. والنشاط التحفيزى للإزيم Catalytic activity of the enzyme يكون غالبا عالى جدا حيث يمكن لجزيء واحد من الإزيم تحويل مائة ألف جزيء من المادة الخام فى حوالى الثانية أو عدة ثوان قليلة.

الخصائص العامة للإزيمات : من أهم الخصائص الرئيسية للإزيمات هو أنها ١- لا يحدث بها تغيير فى التركيب الكيميائى بعد أن تنشط للتفاعل. أى أن الإزيم يدخل للتفاعل وينشطه ويخرج من التفاعل دون حدوث أى تغيير فى تركيبه الكيميائى ٢- الإزيم لا يخلق تفاعلات جديدة ولكنه ينشط تفاعلات موجودة بالفعل ٣- الإزيم متخصص للمادة الخام التى يعمل عليها وبالتالي فعند ارتباط المواقع المتخصصة من الإزيم مع المادة الخام يكون له كل الخصائص المعروفة عن ارتباط المواد التى ترتبط مع البروتين كالألفة Affinity والاختصاصية الكيميائية Chemical specificity والتنافس Competition والتشبع Saturation ٤- الإزيم يسرع من معدلات التفاعل الكيميائى ويؤدى لذلك إلى سرعة محل بلوغ الإتران الكيميائى وإيضاح ذلك فالإزيم يسبب زيادة معدلات كلا من التفاعل الأسمى والعكسى لكنه لا يغير من الإكزان الكيميائى الذى يبلغه للتفاعل فى النهاية ٥- الإزيم لا يسبب أى تغير فى كمية الطاقة الناتجة من المواد المتفاعلة أو المضافة إليها، لكنه يعمل فقط على خفض الطاقة التنشيطية للتفاعل.

العوامل المساعدة ومساعدات الإزيمات Cofactors And Coenzymes : العامل المساعد

Cofactor عبارة عن عنصر يحتاجه الإزيم بدرجة قليلة جدا حتى يمكنه أداء نشاطه حيث يكون التفاعل غير نشط بدون هذا العامل. وغالبا ما يكون العامل المساعد عبارة عن معدن من المعادن النادرة مثل المغنسيوم أو الحديد أو الزنك أو النحاس.... الخ ويرتبط هذا المعدن مع الإزيم بسبب حدوث تغيير فى تركيب بنية الإزيم Enzyme conformation الأمر الذى يؤدى إلى تدخل (إرتباط) الإزيم مع المادة التى يعمل عليها substrate. وكما سبق ذكرنا أن كمية قليلة جدا من الإزيم تسبب تنشيط تفاعل بكميات كبيرة فأيضا الإزيم هنا يحتاج إلى كمية ضئيلة جدا من العامل المساعد حتى يقوم بنشاطه. أما لو كان العامل المساعد هذا عبارة عن جزيء عضوى مشترك بطريقة مباشرة فى التفاعل وفى هذه الحالة لا يسمى عامل مساعد ولكن يسمى مساعد إزيم Coenzyme. هذا وتعمل الفيتامينات أيضا كمساعدات إزيمية ومن أمثلة الفيتامينات التى تعمل كمساعدات إزيمية هى (NAD⁺) Nicotinamide Adenine Dinucleotide وهو أحد فيتامينات مجموعة B وأيضا Flavine Adenine Dinucleotide (FAD) وهو أيضا أحد فيتامينات مجموعة B

complex. وهذه الفيتامينات تلعب دور هام ورئيسى فى تمثيل الطاقة عن طريق نقل الهيدروجين من أحد المواد الخام Substrate إلى مادة خام أخرى.

تنظيم التفاعلات التى تتوسطها الإنزيمات : التفاعلات التى تعتمد على الإنزيمات كمحفز وسيط تعتمد معدلاتها على عدة عوامل منها تركيز المادة الخام التى يعمل عليها الإنزيم Substrate وتركيز ونشاط الإنزيم نفسه ودرجة الحرارة (لكن بالنسبة لدرجة الحرارة أثناء التفاعل البيوكيميائى فى الجسم تكون ثابتة تقريبا حيث لا تتغير درجة حرارة الجسم إلا فى حدود محدودة للغاية وذلك لوجود الإيزان الداخلى فى درجة حرارة الجسم Body temperature homeostasis لذا يمكن عدم إعتبار درجة الحرارة كعامل مؤثر على تنشيط التفاعلات الإنزيمية الأيضية (الميتابولزمية) فى الجسم إلا فى حالات خاصة وهى عند إصابة الإنسان أو الحيوان بالحمى أو بالنسبة للأشخاص الذين يقومون بعمل رياضية لمدة طويلة كافية لرفع درجة حرارة أجسامهم. وفيما يلى شرح مختصر لبعض هذه العوامل :

تركيز المادة الخام التى يعمل عليها الإنزيم Substrate Concentration : وكلما إنداد تركيز المادة الخام التى يعمل عليها الإنزيم كلما إنداد معدل التفاعل إلى حد معين (حد التشبع) بعده يثبت معدل التفاعل وأى زيادة فى المادة الخام لا تسبب زيادة فى معدل التفاعل. وتركيز للمادة الخام التى يعمل عليها الإنزيم Substrate قد يتغير كنتيجة لحدوث تغيرات فى تركيزه خارج الخلية مثل تفسيره فى الغذاء المأكول أو معدل إمتصاصه فى القناة المعوية أو قد يتغير كنتيجة لتغيره داخل الخلية كنتيجة لزيادة معدلات استخدامه أو للتغير فى معدلات تخليقه.

تركيز الإنزيم Enzyme Concentration : فى معظم التفاعلات الأيضية (الميتابولزمية) كلما إنداد تركيز الإنزيم كلما إنداد معدل التفاعل وذلك حيث أنه غالبا ما تكون المادة الخام التى يعمل عليها الإنزيم Substrate متوفرة بدرجة أكبر من كمية الإنزيم المتاحة. ولذلك فيمكن زيادة معدل التفاعل الأيضى (الميتابولزى) عند أى تركيز للمادة الخام وذلك بزيادة تركيز الإنزيم.

نشاط الإنزيم Enzyme Activity : خواص المواقع النشطة فى الإنزيم هى التى تحدد النشاط الإنزيمى. ولذلك فيمكن تغيير النشاط الإنزيمى بتغيير خواص المواقع النشطة لى الإنزيم. وبالتالي فبخلاف تركيز المادة الخام وتركيز الإنزيم يمكن تغيير معدلات التفاعل التى تتوسطها الإنزيمات بتغيير النشاط الإنزيمى. وهناك عوامل عديدة يمكنها تغيير النشاط الإنزيمى، فيمكن تغيير النشاط الإنزيمى عن طريق الجزيئات التى تنتج من تفاعلات أيضية أخرى بالخلية، كما يمكن أيضا تغيير النشاط الإنزيمى عن طريق التعديل التساهمى للنشاط الإنزيمى والذى يحدث عادة عن طريق نشاط مجموعة إنزيمات Protein kinase enzymes والأخيرة تقوم بفسفرة بروتينات معينة كاستجابة لإشارات كيميائية واصلية للخلية كالإشارات الهرمونية مثلا.

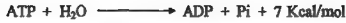
عمليات البناء أو الهدم التي تتم في خطوات متتابعة وتصل فيها إنزيمات عديدة **Multienzyme** عمليات البناء أو الهدم التي تتم في خطوات متتابعة تسمى مسالك أو **Metabolic Pathways** : عمليات البناء أو الهدم التي تتم في خطوات متتابعة تسمى مسالك أو **Metabolic pathways** وهي عبارة عن تتابع من عدة تفاعلات موجهة إنزيمياً وتؤدي إلى إنتاج منتج معين. ومثالا لذلك فالمسلك الأيضي لتكوين هرمون الكورتيزول من الكولسترول يتم في عدة خطوات متتابعة وتؤثر عليه عدة إنزيمات مختلفة. كما أن المسلك الأيضي لهدم الجلوكوز يحتوى على عدد ١٩ تفاعل. ويمكن إيضاح المسلك الأيضي بالمثال التالي : فلو كان عندها أربع إنزيمات هي (e₁ & e₂ & e₃ & e₄) وهذه الإنزيمات تحول المادة A إلى المادة E في تتابع من أربع تفاعلات كما هو موضح :



والفرض أن المادة A تمر بأربع خطوات حتى تصل إلى المنتج النهائي E وطبعاً معدلات التفاعل في الأربع خطوات غير متساوية. ولو أن هناك خطوه يكون معدل التفاعل فيها بطيئاً فهذه الخطوه تمثل الخطوه المحدده لمعدل التفاعل **Rate limiting reaction** في هذا المسلك الأيضي، وبالتالي فمن طريق تنظيم تركيز ونشاط الإنزيم المحدد لمعدل التفاعل يمكن زيادة أو إنقاص معدل تدفق هذا المسلك الأيضي.

حاملات الطاقة (ATP) ونقل الطاقة الخلوية **ATP And Cellular Energy Transfer**

الطاقة لازمة وضرورية للخلية لكي تقوم بوظيفتها. وبالتالي فالخلية لابد لها أن تستخلص الطاقة من تكسير الجزيئات العضوية الموجودة بها مثل تكسير جزيئ جلوكوز في وجود الأكسجين إلى ثاني أكسيد كربون وماء والذي ينتج عنه إنتاج ٦٨٦ كيلو كالورى طاقة وجزء من هذه الطاقة يظهر كحرارة ولا تستخدمه الخلية لكنه يعمل في المحافظة على الإتران الدخلى لدرجة حرارة الجسم. أما الجزء المتبقى من الطاقة ليخزن في صورة مركبات حاملة للطاقة وهي **Adenosine triphosphate (ATP)** وفى حالات خاصة يستخدم أيضا **GTP** كمركبات حاملة للطاقة. ففي كل الخلايا الحية من البكتيريا حتى الإنسان والحيوان يعتبر جزيئ **ATP** هو الجزيئ الأولي لحمل الطاقة ونقلها لإستخدامها بعد ذلك في أى وظيفة خلوية مثل إنتاج قوة أو حركة إنقباض العضلات أو النقل النشط **Active transport** عبر أغشية الخلايا أو تخليق الجزيئات العضوية الدخلة في تركيب ووظيفة الخلية. وإلتراز الطاقة من حامل الطاقة **ATP** يتم عن طريق إزالة مجموعة الفوسفات الطرفية **Terminal phosphate group** حيث تطلق كمية كبيرة من الطاقة تقدر بـ ٧ كيلو كالورى لكل مول (**7 Kcal/mol**) كما هو موضح بمعادلة التحليل التالي لـ **ATP** التالية :



والمعادلة السابقة توضح أن الـ ATP عندما يتقد مجموعة فوسفات يتحول إلى Adenosine diphosphate (ADP). وجدير بالذكر أن الخلية لا تستخدم ATP لإنتاج الطاقة ولكن تستخدمه لنقلها وإذا سمي بحامل الطاقة حيث ينقل كمية صغيرة نسبياً من الطاقة من الجزيئات المحتوية عليها إلى نقاط الخلية المحتاجة للطاقة ولهذا كثيراً ما يسمى بالتقار الكهربائي للخلية. ومما هو جدير بالذكر أن الطاقة تدور في الخلية في صورة جزيئات ATP الذي ينكسر في خلال ثواني إلى $\text{ADP} + \text{Pi}$ مع إفراز طاقة تستخدمها الخلية ثم لا تلبث نواتج ATP المكسر وهي $\text{Pi} + \text{ADP}$ أن يعاد تحويلها إلى الـ ATP مرة أخرى عن طريق ارتباطها مع تفاعلات أيضية مفرزة للطاقة خلال عمليات هدم الكربوهيدرات والدهون والبروتينات.

وقد وجد الباحثون أن حوالي ١٠% من الطاقة الناتجة من هدم جزيئات الغذاء تظهر كحرارة أما الـ ٩٠% الباقية فتنتقل إلى حاملات الطاقة ATP. وتقوم الخلية بنقل الطاقة الناتجة عن هدم الغذاء إلى ATP والذي يتم في الخلية عن طريق ثلاثة مرات أيضية محددة ولكنها مرتبطة ببعضها وهي :

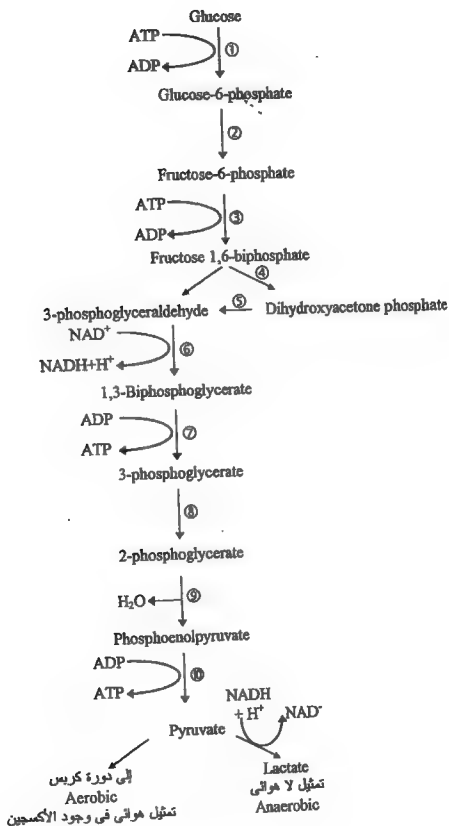
- ١- عملية تحلل الجلوكوز Glycolysis -٧- دورة كريس Krebs Cycle -٣- الأكسدة الفوسفورية Oxidative phosphorylation.

ودورة كريس والأكسدة الفوسفورية تتم في وجود الأكسجين بالضرورة أما عملية تحلل الجلوكوز فهي إما أن تتم في وجود الأكسجين أو تتم في غياب الأكسجين. وسوف نعرض شرح هذه المسالك الأيضية الثلاثة بإذن الله.

- ١- عملية تحلل الجلوكوز Glycolysis : الجلوكوز سكر سداسي يحتوي على ستة ذرات كربون. وعملية الـ Glycolysis تقتصر على تكسير الجلوكوز عن طريق عشرة تفاعلات إنزيمية وتحواله إلى عدد ٢ جزئ من البيروفات كل جزئ يحتوي على ثلاثة ذرات كربون. وخلال هذه العملية يتم إنتاج ٢ جزئ ATP كما هو موضح بالمعادلة التالية :



هذه التفاعلات لا تستخدم فيها الأكسجين وتتم في سيتوبلازم الخلية وتتم في عشرة خطوات تحتوي كل المركبات الوسيطة فيها على مجموعة أو أكثر من الفوسفات المتأينة Ionized phosphate group هذه المجموعات من الفوسفات المتأينة لا تنفذ من الغشاء الخلوي وتظل محبوسة بداخل الخلية. أما العشرة تفاعلات الخاصة بتكسير الجلوكوز (عملية الـ Glycolysis) فهي كما يلي :



ملاحظات على التفاعلات السابقة : ١- الخطوات ١ ، ٢ كلٌ منها يستخدم ATP بدلاً من أن ينتج ATP لسفرة الناتج الوسيطة -٢- التفاعل الرابع يشطر المركب إلى جزيئين بكلٍ منهما ثلاث ذرات كربون -٣- عند التفاعل رقم ٥ يكون هناك جزيئين من الـ 3-phosphoglyceraldehyde وبالتالي أصبح هناك جزيئان من كل جزيء جلوكوز يدخلان للتفاعل بدءاً من هذه النقطة -٤- في الخطوة رقم ٧ يبدأ تكوين ATP. وآلية تكوين ATP هذه تسمى Substrate level phosphorylation لأن فيها تنقل مجموعة الفوسفات من جزيء الـ Substrate إلى الـ ADP -٥- في الخطوة الأولى والثالثة يستخدم في كلا منها جزيء ATP وفي التفاعل السابع والعشر ينتج في كلا منهما جزيئين من الـ ATP وبالتالي فهناك أربعة جزيئات ناتجة من ATP وجزيئين مستخدمين لكل جزيء جلوكوز وبذا يكون الناتج الفعلي هو جزيئين من الـ ATP (لاحظ أن آلية تكوين جزيء ATP في التفاعل رقم ٧ تختلف اختلافاً تاماً عن الآلية المستخدمة في الأكسدة الفوسفورية والتي فيها يرتبط الفوسفات الغير عضوي الحر مع ADP لتكوين ATP).

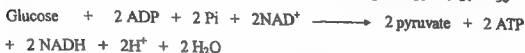
أما بالنسبة للناتج النهائي لعملية الـ Glycolysis وهو البيروفات فيمكنها الدخول في مسالكين تبعاً لتوافر الأكسجين من عدمه. ففي حالة توافر الأكسجين Aerobic condition تدخل البيروفات إلى دورة كريبس وتكسر إلى ثاني أكسيد كربون وماء. أما في حالة غياب الأكسجين Anaerobic conditions فيتم تحويل البيروفات في هذه الحالة إلى لaktات عن طريق تفاعل إنزيمي معين (تفاعل موجه عن طريق الإنزيمات). والمعادلة التالية توضح التفاعل الكلي لتكسير الجلوكوز لا هوائياً.



هذا وكمية ATP المنتجة عن طريق عملية الـ Glycolysis تكون في معظم الخلايا أقل بكثير من كمية ATP المنتجة عن طريق دورة كريبس Krebs cycle والأكسدة الفوسفورية Oxidative phosphorylation. مع ملاحظة أن هناك بعض الحالات التي تأخذ فيها الخلية كسل أو معظم احتياجاتها من ATP عن طريق عملية الـ Glycolysis فقط ومثالاً لذلك خلايا كريات الدم الحمراء Erythrocytes تحتوي على جميع إنزيمات عملية الـ Glycolysis ولا توجد بها دورة كريبس أو الأكسدة الفوسفورية حيث لا توجد بها أصلاً ميتوكوندريا والتي يحتاجها هذان الممران (دورة كريبس والأكسدة الفوسفورية). ولذلك فكل إنتاج خلايا كريات الدم الحمراء من الـ ATP يحدث عن طريق عملية الـ Glycolysis. ومثالاً آخر فيعض الخلايا العضلية (خلايا العضلات الهيكلية) تحتوي على القليل من الميتوكوندريا لكنها تحتوي على الكثير من إنزيمات الـ Glycolysis. وبالتالي وكما ذكرنا من قبل فخلال المجهود العضلي العالي تعطى عملية الـ Glycolysis معظم الـ ATP في هذه

الخلايا حيث يرتبط ذلك بإنتاج كميات كبيرة من اللاكتات. (لاحظ أن معظم خلايا الجسم لا تحتوي على كميات عالية من إنزيمات عملية الـ Glycolysis ولا على كمية كبيرة من الجلوكوز تكفى لإمدادها بمعدل عال من الـ ATP واللازم لتغطية إحتياجات هذه الخلايا من الطاقة لذلك فهذه الخلايا لا يمكنها القيام بوظائفها في الظروف اللاهوائية).

خصائص عملية الـ Glycolysis : ١- المادة التي تدخل التفاعل هى الجلوكوز وبعض السكريات الاحادية -٢- موقع إنزيمات التفاعل هو الـ Cytosol -٣- الناتج الإجمالى لعملية الـ Glycolysis هو عدد ٢ جزئ ATP -٤- معاونات الإنزيم المنتجة Coenzyme production هى $2\text{NADH} + \text{H}^+$ وتتكون تحت ظروف التفاعل الهوائى -٥- المنتج النهائى تحت الظروف الهوائية هو البيروفات وتحت الظروف اللاهوائية هو اللاكتات -٦- معادلة التفاعل الإجمالى الكامل فى حالة الظروف الهوائية تكون كما يلى :



أما فى حالة الظروف اللاهوائية فتكون كما يلى :

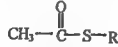


التفاعل الإنتقالي Transition Reaction : حمض البيروفايك الناتج من عملية الـ

Glycolysis ينتشر من الميتوبلازم إلى المكونات الداخلية للميتوكوندريا ويتفاعل مع جزئ كبير يسمى Coenzyme A (CoA). ولثناء عملية الـ Transition reaction تنتزع ذرة الكربون من حمض البيروفايك ليصبح مركب يحتوى على ذرتين كربون (Acetyl group) والذي يرتبط بالـ Coenzyme A ليوثق مركب Acetyl Coenzyme A.

دورة كريبس Krebs Cycle أو دورة حمض الستريك Citric acid cycle أو Tricarboxylic acid cycle هذه الأسماء الثلاثة هى فى الحقيقة أسماء لدورة واحدة والإسم الشائع الاستخدام فيها هو إسم دورة كريبس Krebs Cycle نسبة إلى العالم Hans Krebs مكتشف الخطوات الوسطية فى هذه الدورة. والمادة التى تدخل التفاعل فى هذه الدورة هى Acetyl coenzyme A وإختصاره Acetyl Co A وهى ناتجة خلال عمليات هدم للكربوهيدرات والدهون والبروتينات وينتج عن هذه الدورة ثلثي أكسيد كربون CO_2 و ثمرات هيدروجين مرتبطة بمعاونات إنزيمية وكمية من حاملات الطاقة ATP. والإنزيمات المسؤولة عن التفاعلات فى هذه الدورة تقع ضمن المكونات الداخلية للميتوكوندريا The mitochondrial matrix وكما ذكرنا من قبل فالجزئ الأولي الذى يدخل

التفاعل في بداية دورة كريس هو جزئ Acetyl coenzyme A وهو مركب من ذرتين كربون تركيبه

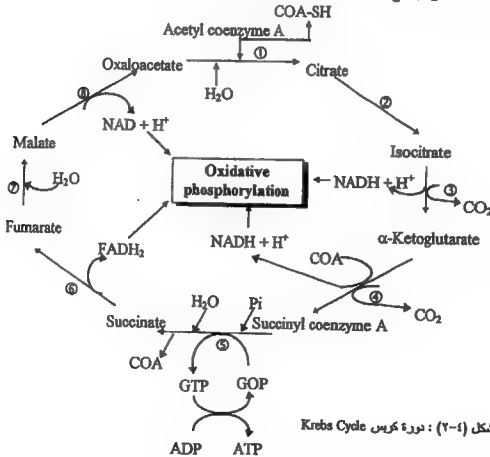


البنائي هو :

والمادة الخام Precursor التي يصنع منها هذا الجزئ (جزئ Acetyl Co A) هي الـ Coenzyme A (Co A) وهي مشتقة من الـ Pantothenic acid وهو أحد مجموعة فيتامين B ووظيفة Co A الرئيسية هي نقل الـ Acetyl group (C-2) من جزئ إلى جزئ آخر. وبالنسبة لمجموعة الأسيتل Acetyl group فهي إما أن تأتي من الليبوفات (كما سبق ذكره وهي الناتج الأخير لعملية الـ Glycolysis) أو قد تأتي من تكسير الأحماض الدهنية أو الأحماض الأمينية. ولذا يعتبر مركب Acetyl Co A عبارة عن نقطة تلاقي بين أيض Metabolism الدهون والبروتين والكربوهيدرات. وعندما تدخل الليبوفات من الميتوكوندريا إلى Mitochondria يحدث التفاعل التالي لإنتاج Acetyl Co A :



والشكل التالي يوضح دورة كريس Krebs Cycle :



ودورة حمض الستريك The citric acid cycle : تبدأ بدخول Acetyl CoA المرحلة الثالثة من التنفس الخلوى Cellular respiration حيث تحدث له دورة ميتابولازمية (إيضوسية) داخل الميتوكوندريا (شكل ٤-٢) بعد ذلك يرتبط المركب المحتوى على ذرتين كربون The two Carbon Compound الناتج من الـ Transition reaction بمركب يحتوى على أربع ذرات كربون يعرف باسم Oxaloacetate والناتج يكون مكون من ٦ ذرات كربون يسمى حمض الستريك Citric acid. ويدخل حمض الستريك عدة تفاعلات كيميائية متتابعة كل تفاعل منها يحدث بالإنزيم المختص به وعلى مدار التفاعل يحدث تعديل للجزئ فى أوقات عديدة فالتاء إعادة تكوين الجزئ المعقد يخرج عدد ٢ جزئ له CO_2 ٢١ من الجزئ الأصلى المحتوى على عدد ٦ ذرات كربون ثم يعاد تكوين الـ Oxaloacetate وبالتالي يحدث استمرار للدورة (شكل ٤-٢).

وكما نرى فى الشكل (٤-٢) فإن أحد التفاعلات الكيميائية لدورة حمض الستريك ينتج جزئ ATP لأن عدد ٢ جزئ حمض البيروفايك يدخلادورة حمض الستريك لكل جزئ جلوكوز يسهم بواسطة عملية الـ Glycolysis وبالتالي تعطى دورة حمض الستريك جزئين جلوكوز للخلية. وبعض التفاعلات الأخرى تعطى إلكترونات وتدخل هذه التفاعلات فى المرحلة الرابعة من عملية التنفس الخلوى.

نظام نقل الإلكترون The Electron Transport System الإلكترونات المطلقة أثناء تفاعلات معينة فى دورة حمض الستريك تأخذها مستقبيلات الإلكترونات فى الميتوكوندريا وهما :
1-Nicotin-amid adenine dinucleotide (NAD)-2- Flavine adenine dinucleotide (FAD).

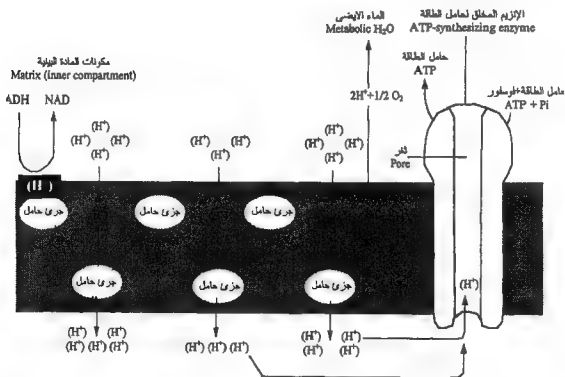
هذه الجزيئات تقوم بنقل الإلكترون إلى تتابع من جزيئات البروتينات الناقلة Protein carrier molecules والموجودة فى السطح الداخلى للغشاء الداخلى فى الميتوكوندريا وهذه البروتينات الناقلة Carrier proteins تحتوى على الـ Electron transport system (ETS).

ونظام نقل الإلكترون Electron transport system يقبل الإلكترونات من NAD & FAD هذه الإلكترونات تنتقل من جزئ بروتين إلى جزئ آخر حتى يحدث له اتحاد بالأكسجين لتكوين H_2O . ولأثناء هذه الرحلة السريعة فى هذه السلسلة يفقد الإلكترون الطاقة (مثل كيم البطاطس الساخن لو تناولته إنس كثيرين وإلى أن يصل لأخر شخص يكون قد فقد حرارته). وهذه الطاقة التى يفقدھا الإلكترون تستخدم لإنتاج ATP ولكن كيف تقوم الخلايا بإنتاج ATP ؟

فى عام ١٩٦١ أوضح الكيميائى البريطانى بيتر ميشول نظرية أسماها Chemiosmosis عن كيفية إنتاج الخلايا لـ ATP أثناء عملية نقل الإلكترونات Electron transport system وأخذ بيتر

ميشيل جائزة نوبل سنة ١٩٧٨ عن هذه النظرية (شكل ٤-٦) ومفاد هذه النظرية أن البروتينات الموجودة في سلسلة نقل الإلكترون هي عبارة عن جزيئات ثنائية الغرض فهي تنقل الإلكترون وتعمل كمضخة لأيون الهيدروجين Hydrogen ion pump فهي تنقل أيونات الهيدروجين من الجزء (المكون) الداخلي للميتوكوندريا إلى الجزء أو المكون الخارجى والذي يقوم (المكون الخارجى) باستخدام الطاقة المقفودة من الإلكترون.

وأيونات الهيدروجين هذه تفرز من بعض التفاعلات الكيميائية التي تحدث فى دورة حمض الستريك Citric acid cycle حيث يتم تصديرها للمكونات الخارجية للميتوكوندريا Outer Compartments ينتج عن ذلك بناء فى هذا الموقع (المكان). وأيونات الهيدروجين هذه لا تصدر أو تنتقل فقط إلى المكونات الخارجية Outer compartments ولكن كثير من هذه الأيونات يعود مرة أخرى للمكون الداخلى للميتوكوندريا Inner Compartment من خلال قنوات فى الغشاء الداخلى للميتوكوندريا. وهذه العودة لأيونات الهيدروجين هي نظرية ميشيل والتي تسمى Chemiosmosis والتي لها قوة تخليق الـ ATP.



شكل (٤-٣) : نظام نقل الإلكترون ونظرية الـ Chemiosmosis

تقول النظرية أن تحرك الأيونات في النار يولد طاقة تسير مولء أو تثير لمبة... الخ ولذلك
تتحرك أيونات الأندروجين يعتقد أنه يشتق منه تخليق ATP.

وقد أجمع العلماء أن الـ Electron transport system (ETS) ينتج عنه عدد ٣٤ جزئ
ATP لكل جزئ جلوكوز ولأن عدد اثنين جزئ ATP ينتجوا من كل جزئ جلوكوز أثناء عملية الـ
Glycolysis واثنين جزئ ينتجوا أثناء دورة حمض الستريك Citric acid cycle لذا يكون للعدد
الكلى لجزئيات ATP المنتجة من تكسير جزئ سكر جلوكوز هو ٣٨ جزئ ATP .

نظرة شاملة على دورة كريس ككل An Over View On Krebs Cycle : دورة كريس
تبدأ بنقل مجموعة الـ Acetyl Co A الموجودة في الـ Acetyl Co A إلى الـ Oxaloacetate وهو
جزئ رباعي الكربون حيث يتم إنتاج جزئ السترات Citrate وهو جزئ ذو ستة ذرات كربون (شكل
٤-٧). في الخطوة الثالثة والرابعة من الدورة ينتج جزئ من ثاني أكسيد الكربون وتدخل ذرتي كربون
الدورة كمجموعة لسيث Acetyl group متصلة بالـ Coenzyme A وفي هذه الحالة يكون قد تم
إنفصال عدد اثنين ذرة كربون (غير ذرات الكربون الداخلة) في شكل CO_2 . أما بالنسبة للأكسجين
الموجود في CO_2 فهو مصدره مجموعات الكربوكسيل Carboxyl groups من مركبات دورة كريس
الوسطية وليس مصدره الأكسجين الجزيئي Molecular Oxygen. في التفاعل الرابع الجزئ رباعي
الكربون المتكون يتم تحويله خلال عدة تفاعلات تنتهي بتكوين جزئ آخر رباعي الكربون يسمى
Oxaloacetate والذي يكون قابل لتقبل مجموعة أسيثيل أخرى Acetyl group حيث يعاد تكرار
الدورة مرة أخرى. تقوم المركبات الوسيطة في دورة كريس بإعطاء ذرات الـ هيدروجين للمساعدات
(المعاونات) الإنزيمية NAD^+ & FAD في خطوات ٣ ، ٤ ، ٨ (شكل ٤-٧) تنقل ذرتي هيدروجين
في كل خطوة إلى NAD^+ وفي التفاعل السادس تنقل ذرتي هيدروجين إلى FAD ثم في المرحلة التالية
من عمليات الميتابولزم (أيض الغذاء) وهي مرحلة الأكسدة الفوسفورية Oxidative
phosphorylation سوف تنتقل ذرات الهيدروجين التي ارتبطت بالـ NAD^+ and FAD إلى
الأكسجين وذلك حيث أن عملية الأكسدة الفوسفورية ضرورية لإعادة تكوين المعاونات الإنزيمية الحرة
(لاحظ أيضا أن دورة كريس تعمل فقط في الظروف الهوائية Aerobic Conditions ولا توجد طريقة
في الميتوكوندريا تعمل على فصل هذا الهيدروجين من معاونات الإنزيمات تحت الظروف اللاهوائية
Anaerobic conditions). وبالنسبة لكيفية مساهمة دورة كريس في إنتاج حاملات الطاقة ATP فهذه
الدورة لا تنتج مباشرة أكثر من جزئ واحد من حاملات الطاقة في التفاعل رقم ٥ (شكل ٤-٧) عندما
يتحول الفوسفات غير العضوي إلى Guanosine diphosphate (GDP) لتكوين الـ Guanosine

triphosphate (GTP). هذا الـ GTP المكون يمكنه التحلل مثل الـ ATP حيث يفرز الطاقة للتفاعلات المحتاجة لهذه الطاقة. كما أنه يمكن تحويل طاقة الـ GTP إلى ATP كما في التفاعل العكسي التالي :



ويستخدم التفاعل السابق في الاتجاه العكسي يكون بغرض إنتاج GTP حيث يحتاج الأخير في تخليق البروتين (لاحظ أن GTP يتحول إلى Cyclic GMP عن طريق زيادة نشاط إنزيم Guanylyl cyclase في سيتوبلازم الخلايا طبقاً للمعادلة التالية :



وينشط إنزيم Guanylyl cyclase بعض الهرمونات البروتينية التي ترتبط على غشاء الخلية أما بالنسبة لـ Cyclic GMP فهو ينشط تخليق بعض البروتينات في الخلية. ويلاحظ أيضاً أن تخليق GTP هو الآلية الوحيدة لتكوين ATP مباشرة من التفاعلات الخاصة بدورة كريبس. أما بالنسبة لأهمية دورة كريبس فترجع إلى أن ذرات الهيدروجين المنقولة خلال الدورة للمعائنات الإنزيمية Coenzymes تستخدم في عمليات الأكسدة الفوسفورية لإنتاج كمية كبيرة جداً من حاملات الطاقة ATP. والمعادلة العامة لهذه مجموعة أسيتل Acetyl group من مركب Acetyl Co A في دورة كريبس Krebs Cycle هي كما يلي :



ومن أهم خصائص دورة كريبس Krebs Cycle : ١- المادة الخام التي تدخل الدورة للتفاعل Entering substrate هي Acetyl Co A والـ Acetyl groups فيها مشتقة من البيروفات Pyruvate والأحماض الدهنية Fatty acids وبعض المركبات الوسيطة مشتقة من الأحماض الأمينية Amino acids - ٢- موقع الإنزيمات المتخصصة لتفاعلات هذه الدورة هو المكونات الداخلية للميتوكوندريا Mitochondrial matrix - ٣- إنتاج الـ ATP في هذه الدورة يتم عن طريق الإنتاج المباشر لجزئ واحد من الـ GTP والذي يتحول إلى جزئ ATP - ٤- كل جزئ Acetyl Co A يدخل الدورة ينتج عنه ثلاثة معائنات إنزيمية Coenzymes وهي NADH بالإضافة إلى واحد معائن إنزيمي وهو FADH₂ وثلاث ذرات هيدروجين 3H⁺ وإثنين جزئ ثاني أكسيد كربون 2CO₂ - ٥-

بعض المركبات الوسيطة في هذه الدورة تستخدم في تخليق الأحماض الأمينية وبعض الجزيئات العنصرية لازمة للوظائف التخصصية للخلية -٦- التفاعل الإجمالي للدورة كما هو موضح بالمعادلة السابقة.

هذا ويجدر الإشارة أن الوظيفة الرئيسية أو الأهمية الفعلية لدورة كريس Krebs cycle هي إمداد عناصر الأكسدة الفوسفورية Oxidative phosphorylation بخرات الهيدروجين بالإضافة إلى ما ، إن ذكره أن بعض المركبات الوسيطة تستخدم في تخليق بعض الأحماض الأمينية وبعض الجزيئات العنصرية لازمة لوظائف الخلية نفسها.

التخمير : تعب العضلات والتجبن والكحول:

Fermentation : Tired muscle, Cheese and wine :

عملية التخمير Fermentation تحدث في خلايا الإنسان والحيوان عند غياب أو نقص الأكسجين. وكقاعدة عامة فبدون الأكسجين ينفذ الـ Electron transport system وبالتالي تتوقف دورة حمض الستريك Citric acid cycle (دورة كريس Krebs Cycle) ومن ثم تقوم الخلايا بعملية Fermentation لتوليد الطاقة. وعملية الـ Fermentation عبارة عن تفاعل كيميائي يتحول فيه حمض البيروفيك إلى حمض اللاكتيك أو بعض النواتج الأخرى مثل الكحول الإيثيلي Ethyl alcohol وهذه التفاعلات مهمة في توليد أو إنتاج الطاقة ومثالاً لذلك :

أثناء بذل المجهود المستمر في الإنسان فإن معدلات استهلاك الأكسجين بواسطة الخلايا تزيد عن الأكسجين المتاح وبالتالي عندما يحدث ذلك ينقص الأكسجين داخل الخلية وهنا تبدأ المشكلة فمع نقص الأكسجين المتاح للحصول على الإلكترونات ينفذ نظام إنتقال الإلكترون (ETS) Electron transport system وعندها ينفذ نظام ETS تنفذ أيضاً دورة حمض الستريك Citric acid cycle لكن ما زالت عملية الـ Glycolysis مستمرة ولكن في غياب الأكسجين وبالتالي يتحول الناتج النهائي لعملية الـ Glycolysis وهو حمض البيروفيك Pyruvate إلى Lactic acid ولذلك فعندما يبذل الإنسان مجهود كبير ولمدة طويلة يتكون حمض اللاكتيك في عضلاته حيث ينتشر حمض اللاكتيك بعد عدة ساعات من العضلات ويذهب لمجرى الدم ثم للكبد حيث يتحول أولاً إلى حمض بيروفيك Pyruvate ثم يتحول إلى جلوكوز مرة ثانية عن طريق تفاعلات كيميائية هي عكس عملية الـ Glycolysis. والجلوكوز المتكون يخزن جزء منه في الكبد في صورة جليكوجين والباقي يفرز في الدم حيث يمد دخوله إلى الخلايا ليمد دورته ويبدأ عملية Glycolysis وعملية الـ Fermentation

إنتاج حمض اللاكتيك. هذه تعتبر مصدر هام لبعض أنواع غذاء الإنسان مثل صناعة الجبن واللبن الزبادى واللذان يستعان من اللبن بإضافة بكتريا خاصة.

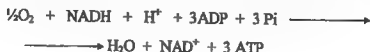
أما عملية الـ Fermentation لإنتاج الكحولات فهي تنتج كحول الإيثانول Ethanol من حمض البيروفيك وتقوم بها بعض الكائنات أدنىة.

الأكسدة الفوسفورية Oxidative Phosphorylation : تحدثا فيما سبق عن عملية تحلل الجلوكوز Glycolysis وعن دورة حمض الستريك (دورة كريس Krebs Cycle) والطريق الثالث Pathway الثالث وهو عملية الأكسدة الفوسفورية وهي عملية تعتبر هامة بالنسبة لإنتاج كميات كبيرة من حاملات الطاقة ATP من الجزيئات المحتوية على الطاقة Fuel molecule. ولدى هذا الطريق تنبثق الطاقة التى تنتقل للـ ATP من الطاقة الناتجة من اتحاد الهيدروجين مع الأكسجين الجزيئى لتكوين ماء (يدأ) كما فى التفاعل التالى :



وطبيعى أن مصدر الهيدروجين فى المعادلة السابقة هو معاونات الإنزيمات Coenzymes وهما $NADH + H^+$ & $FADH_2$ ومن المعروف أنه يلزم ٧ كيلو كالورى/مول 7 Kcal/mol فقط من الطاقة لتحويل $ADP + Pi$ إلى واحد مول ATP. وبالتالي فهناك كمية من الطاقة كافية مفرزة من التفاعل السابق لتخليق أكثر من جزيء من الـ ATP.

هذا وهناك عدة خصائص لعملية الأكسدة الفوسفورية Oxidative phosphorylation وهى: ١- المادة الأولية الداخلة فى التفاعل Entering substrate هى ذرات الهيدروجين المأخوذة من $NADH + H^+$ & $FADH_2$ (والمتكونة من أ- عملية تحلل الجلوكوز Glycolysis ب- من دورة كريس Krebs cycle أثناء تكسير كلا من البيروفات والأحماض الأمينية ج- وأثناء تكسير الأحماض الدهنية Fatty acids). ولوضا من ضمن الـ Entering substrates هو الأكسجين الجزيئى Molecular oxygen. ٢- تقع إنزيمات التفاعل Enzyme location فى الغشاء الداخلى للميتوكوندريا Inner mitochondrial membrane ٣- كل $NADH + H^+$ تنتج ثلاثة جزيئات ATP وكل $FADH_2$ تنتج إثثن جزيء ATP. ٤- الناتج النهائى عبارة عن جزيء ماء لكل زوج هيدروجين دخل هذا الممر Pathway أما بالنسبة لمعادلة التفاعل الإجمالى فهي كما يلى :



وكما ذكرنا في الأبواب السابقة فإن معظم حاملات الطاقة ATP للمتكونة في جسم الإنسان والحيوان يتم إنتاجها خلال الأكسدة الفوسفورية والتي يستخدم فيها ذرات الهيدروجين الناتجة معظمها من دورة كريبس. كاتيجة لتكسير الدهون والبروتين والكربوهيدرات. وبالتالي فكما ذكرنا من قبل تعتبر الميتوكوندريا للمصنع الذي يتم فيه إنتاج الطاقة للخلية وهي أيضا المكان الذي يتم فيه إستهلاك معظم الأكسجين الذي يتنفسه الإنسان والحيوان كما يتم في الميتوكوندريا أيضا إنتاج معظم ثنائي أكسيد الكربون الذي يطرد من الجسم.

وعملية الأكسدة الفوسفورية يتوسطها نوعين من البروتينات لكن هذان النوعان من البروتينات يختلفان عن البروتينات الذاتية الخاصة بدورة كريبس في أن هذه البروتينات توجد بداخل (منغمة) في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا Inner mitochondrial membrane. والنوع الأول من هذه البروتينات فهي تلك التي تتوسط سلسلة التفاعلات التي تنقل الهيدروجين إلى الأكسجين الجزيئي. ومعظم بروتينات هذه المجموعة تحتوي على حديد Iron ونحاس Copper كموامل مساعدة Cofactors. ويجدر الإشارة هنا أن هذه البروتينات تكون كمياتها أكبر في الرجال عنه في النساء والسبب في ذلك هو نقص سبة الحديد في النساء عن الرجال حيث يفقد كثير من الحديد من النساء أثناء دورة الطمث (الدورة الشهرية أو القمرية). وهذا هو سبب زيادة الإنتاج الحراري Heat production في الرجال عن النساء. وبالتالي عدم قدرة النساء على تحمل البرودة مثل الرجال.

وبروتينات المجموعة الأولى هذه تسمى في مجموعها الميتوكرومات Cytochromes وترجع هذه التسمية لأن هذه الميتوكرومات في حالتها النقية تكون براقية اللون. وتركيب هذه الميتوكرومات بمائل تركيب جزئي للهيموجلوبين الأحمر للمحتوى على الحديد. وتشكل هذه الميتوكرومات مكونات السلسلة الناقلة للإلكترونات Electron transport chain حيث تقوم بنقل إلكترونين من ذرات الهيدروجين والتي تنقل أولا من $NADH + H^+$ أو $FADH_2$ إلى أحد مكونات سلسلة نقل الإلكترونات وتبعاً لذلك تنقل هذه الإلكترونات إلى العناصر الأخرى (من وإلى أيونات الحديد والنحاس). ثم تنقل الإلكترونات إلى الأكسجين الجزيئي حيث يتحد في ذلك الوقت مع أيونات الهيدروجين ويتكون H_2O (ماء). ومثل الإلكترونات فأيونات الهيدروجين هذه تأتي من المعونات الإنزيمية Coenzymes الحاملة للهيدروجين. وتفرز أيونات الهيدروجين هذه مبكراً من هذه المعونات في السلسلة الناقلة عند نقل إلكترونات ذرات الهيدروجين إلى الميتوكرومات. وبالإضافة إلى ذلك (تحويل هيدروجينات المعونات الإنزيمية Coenzyme-hydrogens إلى ماء) ففي هذه الطريقة يعاد إنتاج المعونات الإنزيمية الغير حاملة للهيدروجين والتي في هذه الحالة تكون متلحة لأخذ هيدروجين من التفاعلات

الوسيلة ولذلك فإن سلسلة نقل الإلكترون هي الآلية الهوائية Aerobic mechanism لإعادة إنتاج المعلومات الإنزيمية الحرة، في مقابل أن الآلية اللاهوائية Anaerobic mechanism لإنتاجها تكون مرتبطة بتكوين اللاكتات. أما النوع الثاني من البروتينات الوسيطة فسي يمر (طريق Pathway) الأكسدة الفوسفورية فهو تلك البروتينات التي تتوسط Mediate ربط الطاقة المفروزة من تفاعلات الأكسدة الفوسفورية بتخليق الـ ATP.

وننتقل الآن إلى عناصر الغذاء وهي تنقسم إلى قسمين حسب الكميات المتناولة منها فهناك عناصر غذائية مطلوبة بكميات كبيرة وهي ١- الماء Water ٢- للكربوهيدرات Carbohydrate ٣- البروتينات Proteins ٤- الدهون Fats. أما القسم الثاني فهو العناصر الغذائية المطلوبة بكميات ضئيلة وهي ١- المعادن ٢- الفيتامينات. وفي الأبواب السابقة تحدثنا وسوف نتحدث بلإن الله في الأبواب القادمة عن الماء وأهميته، أما في الجزء التالي فسوف نتحدث أولاً عن صليبات أبيض (ميثايلولزم) الكربوهيدرات والدهون والبروتينات، كما سوف نتحدث بلإن الله عن دخول كل قسم من أقسام الغذاء الثلاثة هذه في عمليات (مسارات Pathways) إنتاج ATP، كما سوف نعرض بمشينة الله إلى طرق تخليق جزيئات هذه الأقسام الثلاثة وأيضاً تحويلها من قسم إلى قسم آخر. بالإضافة إلى ذلك فعمليات البناء والهدم لأقسام الغذاء الثلاثة هذه تتضمن أيضاً تخليق جزيئات عديدة ذات وظائف أخرى غير تخزين الطاقة وإفرازها. ومثالاً لذلك فعمليات تخليق الدهون يمكن أيضاً أن تتضمن تخليق الفوسفوليبيدات Phospholipids (التي تصنع منها أغشية الخلايا Plasma membrans) وذلك باستخدام نظم إنزيمية أخرى مختلفة وكميات قليلة.

عمليات بناء Anabolism وهدم Catabolism (أبيض) الكربوهيدرات : Carbohydrate Metabolism : هدم الكربوهيدرات Carbohydrate Catabolism : عمليات هدم الكربوهيدرات تشمل العمليات السابقة التي تحدثنا عنها وهي عملية تكسير الجلوكوز (تحلل الجلوكوز) إلى بيروفات أو لاكتات عن طريق عملية الـ Glycolysis وأيضاً عمليات ميثايلولزم البيروفات عن طريق دورة كريس Krebs Cycle وعمليات الأكسدة الفوسفورية Oxidative phosphorylation. وكمية الطاقة المفروزة لكل مول جلوكوز خلال هدمه إلى ثاني أكسيد كربون وماء تبلغ ٦٨٦ كيلو كالورى فيما للمعادلة التالية :



وكما ذكرنا من قبل فجزء من هذه الطاقة يستخدمه الجسم للمحافظة على الإيزان الداخلي لدرجة حرارته والباقي يتحول إلى صورة حاملات الطاقة ATP، وكما ذكرنا أيضاً أن صالتي عدد

جزئيات ATP المتكونة خلال عمليات الـ Glycolysis (الجزء واحد جلوكوز) تبلغ ٢ جزئ ATP تتكون من خلال الـ Substrate level phosphorylation، وأيضا فهناك اثنين جزئ آخرين من ATP يتكونان عند تحول الـ GTP إلى GDP أثناء دورة كريس (واحد من كل جزئ بيروفات - حيث أن كل جزئ جلوكوز يكون اثنين جزئ بيروفات). أما الجزء الأكبر من الـ ATP فيتكون عن طريق عمليات الأكسدة للفوسفورية Oxidative phosphorylation من الهيدروجين المتولد عند الخطوات المختلفة لهدم الجلوكوز. وكل المعاونات الإنزيمية الرابطة للهيدروجين Hydrogen-bounding enzymes والتي تدخل في عمليات الأكسدة للفوسفورية تتكون في الميتوكوندريا ولذا فهي تستطيع الدخول في عمليات الأكسدة للفوسفورية أما بالنسبة للجزئان من المعاون الإنزيمي $NADH + H^+$ والمتكونان خلال عملية الـ Glycolysis فهما لا يدخلان في عمليات الأكسدة للفوسفورية حيث لا يستطيعان عبور غشاء الميتوكوندريا الداخلي.

هذا وإجمالي عدد جزئيات ATP المنتجة عند تكسير جزئ جلوكوز هي ٣٦ إلى ٣٨ جزئ ATP وهذا الإجمالي يوضحه تفصيليا جدول (١-٤).

جدول (١-٤) كمية ATP المنتجة من هدم الجلوكوز هوائيا

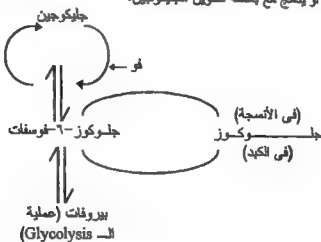
الإيضاح	ATP المنتج لكل جزئ جلوكوز	موقعها	إسم العملية
	٢	Cytosol	Glycolysis
اثنين GTP تتحول إلى GDP فتسبب تكوين اثنين ATP	٢	الميتوكوندريا	دورة كريس Krebs cycle
<ul style="list-style-type: none"> • من عملية الـ Glycolysis $2NADH + 2H^+$ تعطى ٦-٤ ATP • من البيروفات إلى الـ Acetyl Co A $2NADH + 2H^+$ تعطى ٦ ATP • من دورة كريس $6NADH + 6H^+$ تعطى ١٨ ATP • من دورة كريس $2FADH_2$ تعطى ٤ ATP 	٣٢-٣٤	الميتوكوندريا	الأكسدة للفوسفورية Oxidative phosphorylation
	٣٦ أو ٣٨		الإجمالي

والمسبب في أن هدم جزئ الجلوكوز ينتج إما ٣٦ أو ٣٨ حامل الطاقة ATP هو أنه في الظروف الهوائية Aerobic conditions لهدم الجلوكوز تنتقل الهيدروجينات إلى وسيط سييتوبلازمي له القدرة على عبور غشاء الميتوكوندريا وعندما تصبح يدخل الميتوكوندريا تنتقل الهيدروجينات إما إلى المعادن الإنزيمية NAD^+ أو إلى المعادن الإنزيمية FAD ويتوقف ذلك على الإنزيمات المتواجدة بميتوكوندريا النسيج (حيث تختلف هذه الإنزيمات في الأنسجة المختلفة) وبالتالي تبعاً لنوع المعادن الإنزيمية الذي سوف تنتقل إليه الهيدروجينات يتحدد الكمية المنتجة من ATP خلال هدم الجلوكوز هوائياً فإما أن تكون ٤ أو ٦ ATP. وبالتالي فهدم جزئ الجلوكوز هوائياً يؤدي إما إلى إنتاج ٣٦ أو ٣٨ من حامل الطاقة ATP ويتوقف ذلك على مصير المساعد الإنزيمية $NADH + H^+$ سييتوبلازمي الناتج خلال عملية الـ Glycolysis. أما خلال الهدم اللاهوائي للجلوكوز فبسي هذه الحالة تنتقل الهيدروجينات إلى البيروفات لتكوين اللاكتات وإنتاج المساعدات الإنزيمية الغير حاملة للهيدروجين (الحررة).

وحيث يلزم ٧ كيلو كالورى لتكوين ١ مول من الـ ATP ولذلك يلزم $28 \times 7 = 216$ كيلو كالورى لتكوين ٣٨ مول من ATP وحيث أن كمية الحرارة المنتجة من هدم جزئ جلوكوز تعادل ٦٨٦ كيلو كالورى لذا يتبقى ٦٨٦-٢١٦ = ٤٧٠ كيلو كالورى يفرزها الجسم في صورة حرارة تساعد على بقاء الإنسان الدخلى لدرجة حرارة الجسم Body temperature homeostasis. ولهذا فإنه في الظروف الهوائية تنتقل ٤٠% من الطاقة الناتجة من هدم للجلوكوز إلى حاملات الطاقة ATP أما الـ ٦٠% الباقية فيستخدمها الجسم نفسه في المحافظة على حرارته. أما في حالة الهدم اللاهوائي للجلوكوز (في حالة غياب الأكسجين) فينتج ٢ جزئ ATP فقط كنتيجة لهدم الجلوكوز إلى لاكتات وهذا الناتج يمثل فقط حوالي ٢% من الطاقة المخزنة في جزئ الجلوكوز $\left(\frac{7 \times 7}{686} \times 100 \right)$. وبالتالي لمقارنة بالتمثيل الهوائي للجلوكوز نجد أن التمثيل الهوائي يؤدي إلى زيادة كبيرة جداً في كمية الطاقة التي تحصل عليها الخلية كنتيجة لهدم الجلوكوز. وهو ما نلاحظه والحمد لله بالتفصيل في هذا الكتاب أثناء التحدث عن بذل المجهود الرياضي للعنيف.

تخزين الجليكوجين Glycogen Storage : الجليكوجين هو عبارة عن صورة من صور عديد السكريات Polysaccharide glycogen وهو يخلق من جزيئات عديدة من الجلوكوز. والجسم يقوم بتخزين كمية صغيرة من الجلوكوز في الكبد والعصائل الهيكلية كاحتياطي يمكن استخدامه قبل بداية وجبة الطعام التالية وهي للفترة التي تتميز بعدم إمتصاص الجلوكوز من القناة المعدية إلى الدم. وينشط تخليق الجليكوجين من الجلوكوز هرمون يسمى هرمون الإصلاول كما ينشط هدم الجليكوجين

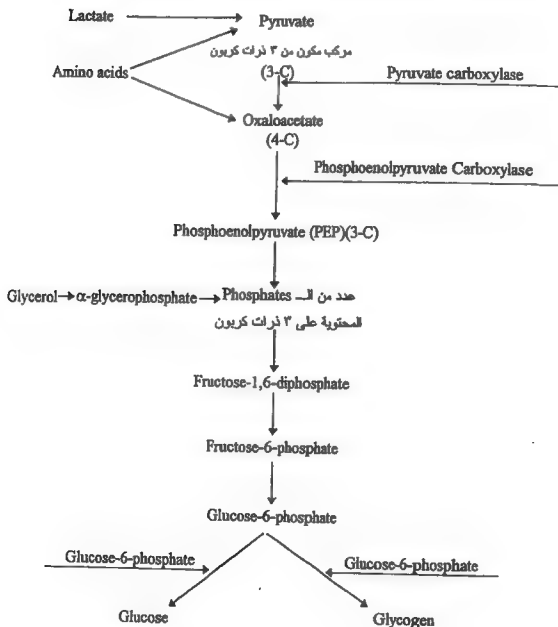
إلى جلوكوز هرمون الجلوكاجون. وهذان الهرمونان ينشطان الإنزيمات المسؤولة عن تخليق أو هدم الجليكوجين وهذه الإنزيمات موجودة طبيعياً في سيتوبلازم الخلايا. وهناك خطوة مشتركة بين تخليق الجليكوجين من الجلوكوز وبين عملية الـ Glycolysis وهي الخطوة الأولى وفيها يتم نقل مجموعة النوسفات من جزئ حامل الطاقة ATP إلى الجلوكوز ليصبح جلوكوز ٦ فوسفات Glucose-6-phosphate (G-6-P) بعد ذلك إما أن يهدم الـ Glucose-6-phosphate إلى بيروفات أو يدمج مع بعضه لتكوين الجليكوجين.



شكل (٤-٤) : الشكل يوضح طريقتي (مسرى) Pathways بناء وهدم الجليكوجين

وكما ذكرنا من قبل فهرمون الإنسولين ينشط مجموعة الإنزيمات المسؤولة عن بناء الجليكوجين، كما أن هرمون الجلوكاجون ينشط مجموعة الإنزيمات المسؤولة عن هدم الجليكوجين وبالتالي فتتبا للحالة الغذائية للفرد يفرز أى من الهرمونين ففي حالة نقص سكر الدم يفرز هرمون الجلوكاجون فيسبب هدم للجليكوجين ويتم تعديل مستوى سكر الدم، أما في حالة زيادة مستوى سكر الدم يفرز هرمون الإنسولين فيسبب تحول الجلوكوز إلى جليكوجين وبالتالي يتم تعديل مستوى سكر الدم أيضاً. لاحظ أنه أيضاً في خلايا الكبد يمكن تحويل الـ G-6-P إلى جلوكوز بزع مجموعة الفوسفات وبالتالي يعود سكر الجلوكوز إلى الدم مرة ثانية ويصبح كمصدر طاقة للخلايا. كما أنه في معظم الخلايا (بما فيها خلايا العضلات الهيكلية) يدخل G-6-P عملية الـ Glycolysis حيث تمر البيروفات الناتجة إلى الميتوكوندريا وفي وجود الأكسجين تتكسر إلى ثاني أكسيد كربون وماء. وخلاصة القول أن هناك طريقتين متاحين للـ G-6-P إما أن يدخل في عملية الـ Glycolysis أو يتجمع ليكون جليكوجين مخزن في الكبد والعضلات الهيكلية.

تخليق الجلوكوز Glucose Synthesis : كما ذكرنا من قبل، ينشط هرمون الجلوكاجون هدم الجليكوجين في الكبد وتحويله إلى جلوكوز لكن بالإضافة إلى هذا الطريق فهناك طريق آخر لتكوين الجلوكوز من مواد غير كربوهيدراتية وهذه العملية تسمى **Gluconeogenesis** وفي هذه العملية يتم تخليق الجلوكوز من المركبات الوسيطة الناتجة من هدم كلا من البروتين والدهون.

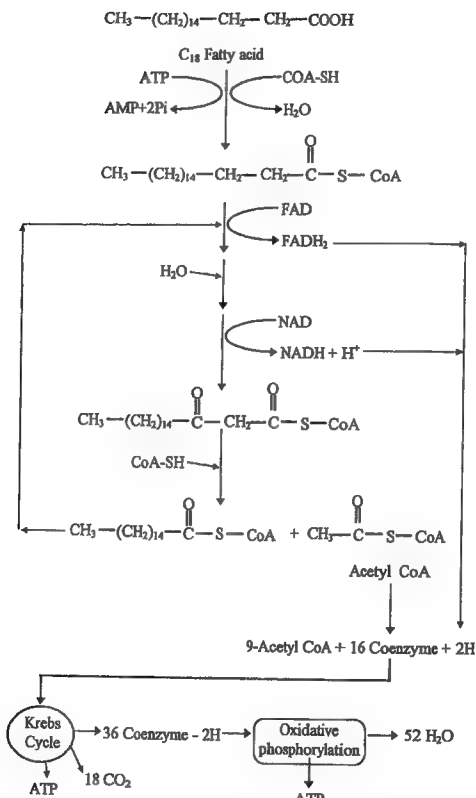


شكل (4-5) : خطوات عملية تكوين سكر جلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية Gluconeogenesis.

ويشغل عملية تكوين السكر من مواد غير كربوهيدراتية Gluconeogenesis هرمون الكورتيزول Cortisol وهرمون الـ Corticosterone المفرزان من قشرة الغدة الجاركلوية Adrenal cortex. هذا وقد أشار بعض الباحثين أنه بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تتم عملية الـ Gluconeogenesis أيضاً في الكلى. وتشكل البيروفات الناتجة من التأكسبات ومن هدم البروتين (أحماض أمينية) المصدر الرئيسي لعملية الـ Gluconeogenesis شكل (٤-٥). وأيضاً فالجليسرول الناتج من عملية التحلل المائي للدهون الثلاثية Triacylglycerol يمكن تحويله إلى جلوكوز عن طريق غير طريق البيروفات.

عمليات بناء Anabolism وهدم Catabolism (أيض) الدهن : Fate

Metabolism: هدم الدهن Fat Catabolism الدهن يشكل حوالي ٨٠% من الطاقة المخزنة بالجسم ويتركب الدهن Fat أو الجلسريدات الثلاثية Triacylglycerol من ثلاثة أحماض دهنية مرتبطة بالجليسرول Glycerol. وفي حالة الراحة فإن نصف الطاقة المستخدمة للكبد والكلىتين والعصائل مصدرها هو هدم الأحماض الدهنية. ومعظم دهن الجسم يكون مخزن في خلايا متخصصة تسمى بالخلايا الدهنية Adipocytes حيث يكون سيتوبلازم هذه الخلايا مملوء بقطره دهنية كبيرة واحدة. ويتكون النسيج الدهني Adipose tissue من عناقيد Clusters من هذه الخلايا. وأغلب هذا النسيج الدهني Adipose tissue يوجد عادة تحت الجلد. والخلايا الدهنية Adipocytes وظيفتها تخليق وتخزين الدهن خلال فترات تناول الأكل، ثم خلال فترات الجوع أو عندما لا يوجد امتصاص لنواتج الهضم من الأمعاء تقوم الخلايا الدهنية هذه بإفراز الأحماض الدهنية والجليسرول إلى الدم حيث تستخدمها خلايا أخرى محتاجة للطاقة. وتقوم الإنزيمات الموجودة بالمادة البينية بالميتوكوندريا Mitochondrial matrix بهدم الأحماض الدهنية. حيث يبدأ هدم الحمض الدهني عن طريق ربط جزء من CoA بالنهاية الكربوكسيلية للحمض الدهني وهذه هي أول خطوة في هدم الحمض الدهني وتكون مصحوبة بتحويل حامل الطاقة ATP إلى AMP + ٢ جزء من الفوسفات غير العضوي. ويوجد الإشارة إلى أن الطاقة الناتجة من هذا التفاعل تعادل الطاقة الناتجة من التحلل المائي لعدد اثنين جزء ATP والسبب في ذلك هو أن الفوسفات الطرفي عبارة عن روابط عالية الطاقة. ثم بعد ذلك يدخل مشتق الـ Co A والحمض الدهني في سلسلة تفاعلات تسمى Beta oxidation هذه التفاعلات تقوم بفصل جزء من الـ Acetyl Co A من عند نهاية الحمض الأميني. كما تقوم هذه التفاعلات أيضاً (Beta oxidation) بنقل زوجين من ذرات الهيدروجين إلى المعونات الإنزيمية Coenzymes (زوج إلى المعون الإنزيمي FAD وزوج إلى المعون الإنزيمي NAD^+).



شكل (٦-٤) : الشكل يوضح طريقة هدم الأحماض الدهنية في الميتوكوندريا.

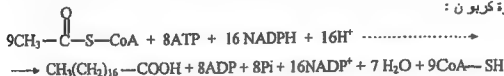
حيث تدخل هذه المعاملات بعد ذلك إلى مسار (طريق) الأكسدة للفسفرة
 Oxidative phosphorylation. وبالتالي وكما سبق ذكره يقوم المعاون الإنزيمي $NADH + H^+$
 بتكوين ثلاثة جزيئات ATP كما يقوم أيضا المعاون الإنزيمي $FADH_2$ بتكوين عدد اثنين جزيء من
 الـ ATP وبذلك تكون الكمية الكلية المنتجة من ATP هي خمسة جزيئات شكل (٤-٦).
 ويلاحظ في صلية هدم الأحماض الدهنية أنه عند شطر الـ Acetyl Co A الطرفي من
 الحمض الدهني يضاف Co A آخر ولا توجد في هذه الحالة حاجة لإستخدام حامل الطاقة ATP فسي
 هذه الخطوة وبالتالي تعاد هذه الخطوات ثانياً ويؤدي ذلك إلى تقصير سلسلة الحمض الدهني بمقدار
 ذرتي كربون في كل مرة خلال هذه الخطوات إلى أن يكتمل نقل كل ذرات الكربون إلى CoA. بعد
 ذلك تدخل جزيئات Acetyl Co A إلى دورة كريس Krebs cycle مع ملاحظة أن كل شطر ثنائي
 الكربون ينتج ٢١ + ١٢ ATP بواسطة الأكسدة الفوسفورية Oxidative phosphorylation.

هذا ويتراوح عدد ذرات الكربون المكونة للحمض الدهني بين ١٤-٢٢ (أي أن الأحماض
 الدهنية تتكون من ١٤-٢٢ ذرة كربون) لكن الأحماض الدهنية الشائعة تتكون من ١٦-١٨ ذرة
 كربون. وكمية ATP الناتجة من الهدم الكلي لحمض دهني مشبع به ١٨ ذرة كربون هي ١٤٦ جزيء
 ATP (لاحظ أن لكمية من ATP يمكن إنتاجها من هدم جزيء واحد جلوكوز هي ٣٨ جزيء
 ATP). لذلك فكمية ATP الناتجة من هدم ١ جرام دهن تعادل ٧,٥ ضعف كمية ATP الناتجة من هدم
 ١ جرام نشا (لاحظ أن هذه الكمية محسوبة مع أخذ الوزن الجزيئي في الإعتبار). وهنا نجد الفرق بين
 النبات والحيوان فالثبات يخرن الطاقة في صورة نشا حيث أنه لا يتحرك ولذلك فهو لا يحتاج لكمية
 كبيرة من الطاقة أما للحيوان فالر تخزين كل الطاقة اللازمة له في صورة نشا لأدى ذلك إلى زيادة وزن
 جسمه ٣٠% أكثر من الثرد الذي يخزنها في صورة دهن. أضف إلى ذلك أنه يحتاج إلى طاقة بكمية
 أكبر حتى يستطيع أن يتحرك مع زيادة الوزن هذه. لذا جعل الله سبحانه وتعالى تخزين الطاقة في جسم
 الحيوان في صورة دهن حتى يستطيع الحركة وأداء وظائفه دون عائق زيادة الوزن.

تخليق الدهن Fat Synthesis : تخليق الأحماض الدهنية يتم في سيتوبلازم الخلايا، أما هدم
 الأحماض الدهنية فيتم في ميتوكوندريا الخلايا (أو بمعنى آخر أن مجموعة الإنزيمات المسؤولة عن
 تخليق الأحماض الدهنية موجودة في سيتوبلازم الخلايا، أما مجموعة الإنزيمات المسؤولة عن هدم
 الأحماض الدهنية فهي موجودة في الميتوكوندريا). وعلى الرغم من ذلك فعملية تخليق الأحماض

الدهنية هي عكس عملية هدم الأحماض الدهنية شكل (٤-٦) (لكن مجموعة الإنزيمات المسؤولة عن كل عملية توجد في مكان مختلف عن الأخرى).

ولتخليق الحمض الدهني يدخل Acetyl Co A سلسلة من التفاعلات التي يلزم لها حامل الطاقة ATP والصورة المفسرة من الـ $\text{NADH} + \text{H}^+$ وهي $\text{NADPH} + \text{H}^+$. وفي هذه التفاعلات يتم نقل مجموعة الأسيتيل Acetyl إلى جزء آخر من Acetyl Co A حيث يتم تكوين سلسلة بها أربع ذرات كربون وبتكرار هذه الخطوة يتم إضافة عدد اثنين ذرة كربون للسلسلة في كل خطوة. وبالتالي يتم بناء الأحماض الدهنية طويلة السلسلة. وهذا هو سبب إحتواء الأحماض الدهنية المصنعة في الجسم على عدد زوجي من ذرات الكربون. والمعادلة التالية توضح التفاعل الكلي لتصنيع حمض دهني به عدد ١٨ ذرة كربون :

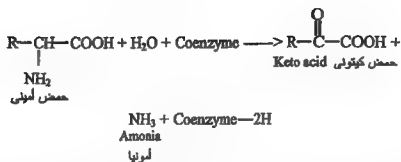


هذا وعملية تخليق الدهون تتم عن طريق ربط الأحماض الدهنية مع الصورة المفسرة من الجليسرول الدهنية مع الـ α -glycerol phosphate (الصورة المفسرة من الجليسرول). أو بمعنى آخر يمكن تخليق الدهون عن طريق ربط الأحماض الدهنية مع كل من مجموعات الهيدروكسيل الثلاثة بالجليسرول. هذا وتخليق الجليسريدات الثلاثية يتم عن طريق إنزيمات مرتبطة بأغشية الشبكة الإندوبلازمية الملساء Smooth endoplasmic reticulum. هذا ويجدر الإشارة إلى أن دهن الجسم يتكون أساساً من أحماض دهنية + ماء. ونسبة الماء تختلف من نسيج دهني إلى آخر ومن فرد إلى آخر ولذا يجب عند عمل إنقاص لوزن الجسم (ريجيم) مراعاة كميات البول وكميات الماء التي يتناولها الفرد يوميا حتى لا يتم إحلال نسب كبيرة من الماء محل الدهن المفقود كنتيجة لتقص الغذاء.

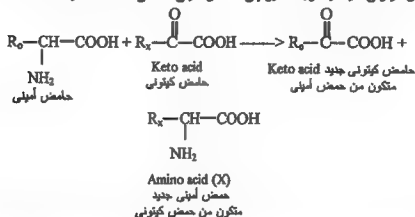
وهناك تساؤل لماذا تتحول معظم كربوهيدرات الغذاء إلى دهن وتخزن في النسيج الدهني بعد فترة قصيرة من إمتصاصها من القناة الهضمية ؟ وأيضا لماذا لا يستطيع الجسم إستخدام الأحماض الدهنية في تصنيع جزيئات جلوكوز جديدة ؟ وللإجابة على هذان التساؤلان نسوق ما يلي : ١- بالنسبة للتساؤل الأول نجد أن المادة التي يصنع منها الحمض الدهني هي الـ Acetyl Co A كما ذكرنا من قبل وبالتالي فهذه المادة يمكن إنتاجها من البيروفات وهي الناتج النهائي لعملية تحلل الجلوكوز Glycolysis. وأيضا لبقاى المكونات الأخرى التي تدخل في تخليق الحمض الدهني وهي الـ ATP والمكونات الإنزيمية Coenzymes للرابطة للهيدروجين جميعها تنتج خلال عمليات هدم الكربوهيدرات. كما أنه يمكن أيضا الحصول على الـ α -glycerol من مركب وسطي للجلوكوز ٢-

أما بالنسبة للإجابة على التساؤل الثاني وهو عدم تكوين جلوكونز من حمض دهني لجد أن التفاعل الذي يتم فيه تحويل (تكسير) البيروفات إلى CO_2 & Acetyl Co A هو تفاعل في اتجاه أمامي فقط وغير عكسي وبالتالي لا يمكن تحويل الـ Acetyl CoA إلى بيروفات حتى يمكن تخليق الجلوكونز منها. إضافة إلى ذلك فإن ذرتي الكربون بالـ Acetyl Co A تتحول إلى جزيئين من ثاني أكسيد الكربون CO_2 أثناء مرورهما خلال دورة كريبس وقبل أن تصل إلى مركب Oxaloacetate ، لذلك لا يمكن استخدام هاتان الذرتان من الكربون في تخليق الـ Oxaloacetate حيث يمكن أن يبدأ منه تخليق الجلوكونز. ومما نلاحظ أنه يمكن تحويل الجلوكونز بسرعة إلى دهن لكن لا يمكن تحويل الدهن إلى جلوكونز مع ملاحظة أن الجلوسرول يمكن تحويله إلى مركب وسطي أثناء عملية تكوين سكر من مواد غير كريبوهيدراته Gluconeogenesis ثم بعد ذلك يتم تحويله إلى جلوكونز. (لاحظ أن الجلوسرول هو الذي يشكل العمود الفقري للدهن).

عمليات بناء Anabolism وهدم Catabolism (أيض) الأحماض الأمينية والبروتين:
Protein And Amino Acid Metabolism : هدم البروتين يعطى تكسير الروابط البيبتيدية Peptide bonds الموجودة بين الأحماض الأمينية والذي يقوم بذلك مجموعة قليلة جداً من الإنزيمات تسمى إنزيمات تحليل البروتين Proteases. وتختلف هذه الإنزيمات عن بعضها في أن بعضها يقوم بتكسير الروابط البيبتيدية الموجودة بين أحماض أمينية معينة وبذلك فهي تنتج ببتيدات وليس أحماض أمينية حرة وبعضها يقوم بفصل حمض أميني طرفي واحد من سلسلة الأحماض الأمينية المكونة للببتيد أو البروتين. وعدد الأحماض الأمينية هو عشرون حمض أميني حسب ما دونوه علماء الوراثة وفسيولوجيا الحيوان لما علماء التغذية فيستبرون أن عدد الأحماض الأمينية هو ٢٢ حمض أميني، لكن المهم أن أي المعدن كافي ويغني عن المعدن لعدد من أنواع البروتينات المختلفة (تبعاً لتتابع الأحماض الأمينية في سلسلة الببتيد) كما يمكن أيضاً إنتاج العديد من المركبات الوسيطة. وكلمة حمض أميني تأتي من احتواء هذا الحمض على مجموعات أمين (ذرات نيتروجين Nitrogen atoms) وبالتالي فالأحماض الأمينية على عكس الكريبوهيدرات والدهن فهي تحتوي على ذرات نيتروجين بالإضافة إلى الكربون والهيدروجين والأكسجين. ولذلك فبمجرد إزالة مجموعة الأمين من الحمض الأميني يتجه الجزء المتبقى من الحمض الأميني إلى التحول إلى مركبات وسيطة قادرة على الدخول إما في عملية الـ Glycolysis أو في دورة كريبس Kerbs cycle. هذا وهناك نوعين من التفاعلات التي تؤدي إلى نزع مجموعة الأمين هذه وهي : ١- نزع تأكسدي Oxidative deamination : وفيها تفصل مجموعة الأمين وتستبدل بذرة لكسجين آتية من الماء مما يؤدي إلى تكوين حامض كيتوني كما في التفاعل التالي :

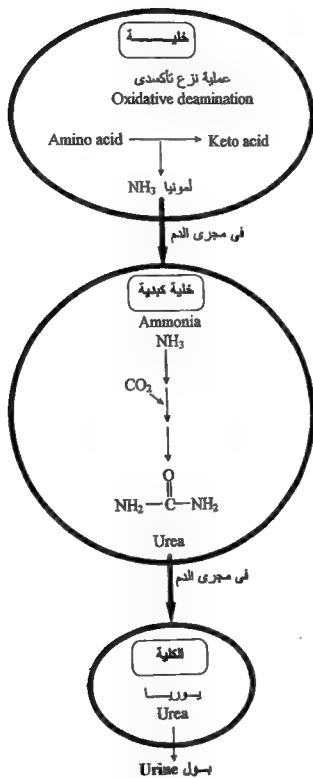


٢- نقل الأمين **Transamination** : وفي هذه العملية يتم نقل مجموعة الأمين من الحمض الأميني إلى حامض كيتوني حيث يتحول الأخير إلى حامض أميني كما في المعادلة التالية :



ويلاحظ أنه بالنسبة للمعادلة الأولى في حالة النزاع التأكسدي Oxidative deamination ينتج في الطرف الأمين من المعادلة أمونيا (NH_3) وهذه الأمونيا شديدة السمية بالنسبة للخلايا لو تركت لتتراكم داخل الخلية ولهذا السبب تمر هذه الأمونيا بسرعة عبر أغشية الخلايا وتمر في مجرى الدم لتصل للكبد. وفي الكبد تتحول إلى يوريا عن طريق نشاط بعض الإنزيمات التي تقوم بربط جزيئين من الأمونيا مع ثلاثي أكسيد الكربون لتتكون اليوريا Urea شكل (٤-٧) وتذهب هذه اليوريا من الكبد إلى الكليتين عن طريق الدم ثم تفرز في صورة بول Urine عن طريق المثانة. هذا وتعتبر اليوريا غير سامة تقريبا للخلايا وهي الناتج النهائي لعمليات هدم البروتين.

بالإضافة إلى ذلك فالنيوتروجين الناتج من نزاع مجموعة الأمين تستخدمه بعض الخلايا في تخليق جزيئات نيتروجينية أخرى مثل قواعد الـ Purine والـ Pyrimidine والذان يدخلان في تركيب الأحماض النووية Nucleic acids. وكما سبق أوضحنا أن هدم الأحماض الأمينية ينتج عنه أحماض كيتوية. هذه الأحماض الكيتوية ما هي إلا مركبات وسطية إما في عملية الـ Glycolysis (بيروفات Pyruvate) أو في دورة كريس (Krebs cycle α -Ketoglutarate).



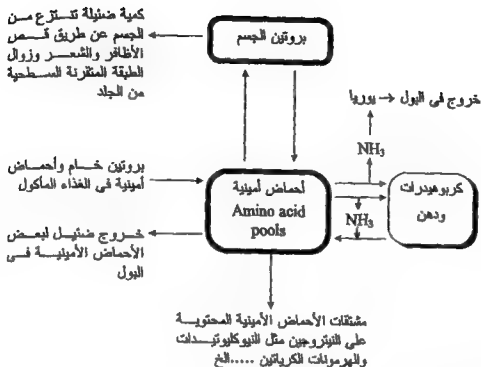
شكل (٤-٧) : الشكل يوضح تكوين اليوريا وهي الناتج الرئيسى من عمليات هدم البروتين.

والأحماض الأمينية تستخدم كمصدر للطاقة كما يتحول بعضها إلى دهن وكربوهيدرات ولإيضاح ذلك نتذكر أن هدم الحمض الأميني بسبب تكوين حمض كيتوني وبمجرد تكوين الأحماض الكيتونية يمكن دخولها في عمليات هدم أو بناء، فيمكن هدمها لإنتاج ثاني أكسيد الكربون وحامل الطاقة ATP، ويمكن أيضا استخدامها كمركبات وسطية في الطريق المؤدى إلى تخليق الجلوكوز، كما يمكن تحويلها إلى Acetyl Co A مروراً بالبيروفات وبالتالي يمكن إستخدامها لتخليق الأحماض الدهنية.

هذا ويمكن إستخدام الجلوكوز لإنتاج أحماض أمينية معينة وذلك عن طريق عملية الـ Transamination ولذلك يشترط في هذه الحالة وجود أحماض أمينية أخرى بالغذاء لإمداد عملية الـ Transamination بمجموعة الأمين. وكما ذكرنا من قبل فهناك عدد عشرون حمض أميني لكن الممكن تكوينه أو تخليقه بهذه الطريقة (١١) إحدى عشر حمض أميني فقط لأن هناك تسعة أحماض كيتونية ونظائرها من الأحماض الأمينية لا يمكن تصنيعها من مركبات وسطية أخرى.

ولذلك فمن الضروري الحصول على هذه الأحماض الأمينية التسعة من الغذاء المأكل ولذلك فهي تسمى بالأحماض الأمينية الأساسية Essential amino acids وعموماً بالأحماض الأمينية الحرة بالجسم يكون مصدرها: ١- بروتين الغذاء الذي يتحول إلى أحماض أمينية خلال عمليات هدم البروتين وإمتصاصه بالأمعاء ٢- من عمليات تخليق أو تكوين أحماض أمينية غير أساسية (١١) حمض أميني) من الكربوهيدرات والدهون من خلال عملية الـ Transamination لتحويل الأحماض الكيتونية المشتقة من الكربوهيدرات والدهون إلى أحماض أمينية. ٣- أو من هدم بروتين الجسم نفسه. وهذه الأحماض الأمينية يستخدم بعضها كمصدر لإعادة بناء بروتين الجسم كما يتم تحويل المتبقى إلى دهن وكربوهيدرات. كما يستخدم أيضاً بعض من هذه الأحماض الأمينية في إنتاج بعض البروتينات المتخصصة مثل الإنزيمات والهرمونات. ويجدر الإشارة أيضاً أن الشعر والأظفار والبطانة المتقرنة على سطح الجلد (لها خاصية الإضمحلال والتكوين مرة أخرى على السطح) والمعروف أن كل هؤلاء يفقدوا باستمرار من الجسم ولكن بكميات ضئيلة لذلك فهم يشكلون مصدر ضئيل للفقد البروتين والأحماض الأمينية. كما يفقد جزء ضئيل أيضاً من البروتين في سوائل دم الحوض (الطمث) Menstrual fluid في النساء. أما الطريق الرئيسي للفقد الأحماض الأمينية من الجسم فهو كما ذكرنا عن طريق نزع مجموعة الأمين وتحويلها إلى يوريا في الكبد وتخرج في صورة بول Urine عن طريق الكليتين شكل (٤-٨).

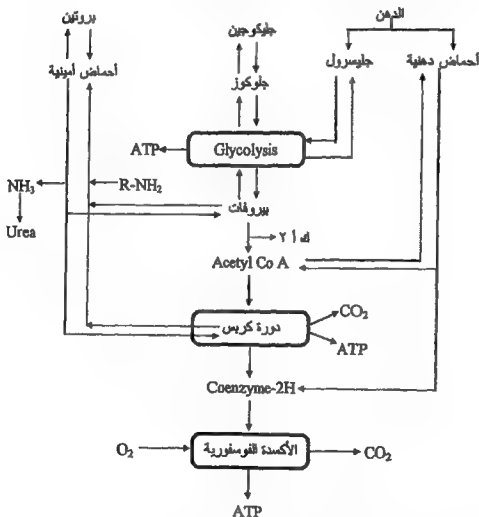
الميزان الأزوتي (ميزان النيتروجين) Nitrogen Balance : كمية النيتروجين الدخلة للجسم في الغذاء المأكل وكمية النيتروجين المفقودة من الجسم يعبر عنها بالميزان الأزوتي.



شكل (٨-٤) : الشكل يوضح مرات (طرق) Pathways بناء وهدم الأحماض الأمينية.

والميزان الأوتوى الموجب **Positive nitrogen balance** : يعنى أن كمية النيتروجين المأخوذة أكثر من كمية للنيتروجين المفقودة، ونجد دائما الميزان الأوتوى الموجب فى الأطفال وأثناء مراحل النمو وقبل تمام النمو عند عمر ٢١ عام تقريبا Adult. وفى الحيوانات أيضا نجد الميزان الأوتوى للموجب أثناء مراحل نمو الحيوان، أما الميزان الأوتوى السالب **Negative nitrogen balance** فمعنى أن كمية للنيتروجين المفقودة من الجسم أكثر من كمية النيتروجين المأخوذة فى الغذاء، وهذه الحالة تحدث كنتيجة لغرباب أى من الأحماض الأمينية الأساسية فى الأكل حيث لا يتمكن الجسم من تخليق البروتينات الداخلة فيها هذا الحمض الأمينى، لذا يتم هدم الأحماض الأمينية الأخرى المشتركة معه فى تصنيع هذه البروتينات. والبروتينات عالية القيمة البيولوجية توجد غالبا فى المنتجات الحيوانية (القيمة الحيوية لبروتين البيض تصل إلى ٩٨%). أما البروتينات النباتية فتقل قيمتها بالرغم من أنه يمكن الحصول على كميات كافية من الأحماض الأمينية الأساسية بتناول مخلوط من مختلف البروتينات النباتية (أى تعدد مصادر البروتين).

نقاط التلاقي (الإتصال) بين ميثيلويزم الكربوهيدرات والدهون والبروتينات Interrelations Among The Pathways For The Metabolism Of Carbohydrates, Fats And Proteins : نقاط التلاقي بين عمليات بناء وهدم الكربوهيدرات والدهون والبروتين تلخص لنا أيضا أيض الطاقة لأنسام الغذاء الثلاثة الرئيسية وشكل (٩-٤) يوضح أنه يمكن لكل جزيئات للدهن والبروتين والكربوهيدرات دخول دورة كريس من خلال المركبات الوسيطة وبالتالي يمكن إستخدام أنسام الغذاء الثلاثة كلها كمصدر للطاقة الكيماوية اللازمة لتصنيع الـ ATP في دورة كريس وأيضا في الأكسدة للفوسفورية والتي تعتبر هامة بالنسبة لإنتاج الـ ATP.



شكل (٩-٤) : نقاط التلاقي بين ميثيلويزم الكربوهيدرات والدهون والبروتين.

وشكل (٤-٨) يوضح لنا أيضا أنه يمكن تحويل الجلوكوز إلى دهن أو إلى بعض الأحماض الأمينية من خلال بعض المركبات الوسيطة مثل البيروفات وAcetyl Co A. وأيضاً وبالمثل يمكن تحويل بعض الأحماض الأمينية إلى جلوكوز ودهن أما بالنسبة للأحماض الدهنية فكما ذكرنا من قبل لا يمكن تحويلها إلى جلوكوز وذلك بسبب التفاعل العكسي الذي يحصل البيروفات إلى Acetyl Co A. بينما يمكن تحويل الجليسرول الموجود بالدهون الثلاثية إلى جلوكوز. كما يوضح شكل (٤-٩) أيضاً أنه يمكن تكوين أحماض كيتونية من بعض الأحماض الدهنية وهذه الأحماض الكيتونية يمكن تحويلها إلى أحماض أمينية (كما ذكرنا من قبل عن طريق عملية الـ Transamination). وما تقدم يمكن الإشارة أن هناك درجة عالية من التكامل Integration بين عمليات الميتوكوندريا وكلا من الكربوهيدرات والدهن والبروتين حيث يمكن إنتاج الطاقة من كلا منهما. كما يمكن أيضاً وإلى حد كبير تحويل إستخدام أى قسم منهم لتوفير المادة الخام اللازمة لتصنيع عناصر الأقسام الأخرى إلا في جزئية عدم تكوين جلوكوز من أحماض دهنية. لكن كما سورد ذكره فيما بعد بإذن الله لا يصنف سكر الجلوكوز كمصدر غذائي أساسي لأن الجسم عادة يستطيع تخليق كل إحتياجاته من الجلوكوز من عناصر أخرى (الأحماض الأمينية مثلاً).

عناصر الغذاء الرئيسية **Essential Nutrients** : العنصر الغذائي الرئيسي هو ذلك العنصر الذي يتوفر فيه شرطان أساسيان الأول : أنه يجب أن يكون ضروري للصحة العامة بالنسبة للإنسان أو الحيوان والثاني أنه لا يتم تخليقه في الجسم بكمية تفي بإحتياجات الجسم منه. وعلى ذلك نجد أن سكر الجلوكوز بالرغم من كونه عنصر هام بالنسبة لأعض الطاقة لكنه لا يصنف على أنه عنصر غذائي رئيسي وذلك لمقدرة الجسم على تخليق كل إحتياجاته من الجلوكوز من عناصر غذائية أخرى مثل البروتينات مثلاً. والمعروف حتى الآن أن جسم الإنسان أو الحيوان يحتاج إلى حوالي ٥٠ عنصر غذائي رئيسي حتى يستطيع أن يؤدي وظائفه على الوجه الأكمل. وهذه المواد قد لا يستطيع الجسم تخليقها أو قد يقوم الجسم بتخليقها بكميات لا تفي بإحتياجاته منها. وبما أن الجسم يقوم بالتخلص من هذه العناصر الرئيسية بمعدلات محددة لذا يجب إمداد الجسم بها حيث أن نقص أى منها يسبب ضرر للصحة العامة ولول هذه العناصر هو الماء وهو يعتبر مادة غذائية رئيسية لأنه يفقد من الجسم باستمرار (عن طريق البول - العرق - الجهاز التنفسي - الجهاز الإخراجي ..) ومعدلات فقد الماء هذه أعلا من معدلات تخليقه في الجسم (يتكون الماء كمنتج نهائي من عمليات الأكسدة الفوسفورية وعمليات ميتابوليزمية أخرى) ولذا يجب إمداد الجسم باستمرار بالماء. والعناصر الغذائية الرئيسية الأخرى هي: سبعة عناصر معدنية **Mineral elements** وهي الكالسيوم والفوسفور والبوتاسيوم والكبريت والصوديوم والكلورين والمغنسيوم وثلاثة عشر من العناصر النادرة **Trace elements** وهي

الحديد واليود والنحاس والزنك والمنجنيز والكوبالت والكروميوم والسيلينيوم والموليبدنم والفلورين والسليكون والتصدير (الصفائح) Tin والناداديوم Vanadium والتسعة أحماض أمينية الضرورية Essential amino acids وهى الأسولويسين والليوسين واليسين والميثيونين والفينيل ألانين والثريونين والترتوفان والتكروسين والفالين وإثنين من الأحماض الدهنية الضرورية Essential fatty acids وهما حمض اللينوليك واللينونيك وعشرة فيتامينات ذائبة فى الماء Water-soluble vitamins وهى الثيامين (B₁) والريبوفلاين (B₂) والبيريدوكسين (B₆) والكوبالامين (B₁₂) والنياسين والبانتوثيك أسيد (حمض البانتوثيك Pantothenic acid) وحمض الفوليك Folic acid والبيوتين Biotin وحمض اللبويك Lipic acid وفيتامين ج Vitamin C وأربعة فيتامينات ذائبة فى الدهن Fat-soluble vitamins وهم فيتامين A & D & E & K وعناصر غذائية رئيسية أخرى هى الإينوسيتول Inositol والكولين Choline والكارنيتين Carnitine.

هذا ويجب الإشارة إلى أنه ليس معنى أن العنصر غذائى أساسى أن تكون كميته كبيرة أو يجب توفير هذه العناصر بكميات متساوية لى تكون هذه المواد أساسية وللتعريف مثالا أن الإحتياجات من الماء تبلغ ١,٥-٣ لتر أو أكثر فى اليوم (حسب درجة حرارة الجو) فى الإنسان البالغ بينما تبلغ الإحتياجات من الميثيونين Methionine ٧ جرام والإحتياجات من الثيامين Thiamine واحد ملوجرام فقط.

أما بالنسبة للعناصر المعدنية فهى لا يحدث لها تخليق فى الجسم كما أنها هامة بالنسبة لعمليات الميتابولزم (تعمل كموامل مساعدة Cofactors للإنزيمات مثلا) وهذه العناصر تخرج من الجسم باستمرار عن طريق البول والبراز والعرق... الخ لذا يلزم إمداد الجسم بكميات كبيرة من العناصر الرئيسية بينما يلزم إمداده بكميات ضئيلة من العناصر النادرة.

الفيتامينات Vitamins : الفيتامينات تشارك كمعاونات إنزيمية Coenzymes فى التفاعلات الكيميائية المنتجة للطاقة لكنها ليست فى حد ذاتها مصدرا للطاقة (أى أنها تنشط فقط للعمليات الميتابولزمية المنتجة للطاقة). والإنزيمات اللازمة لتخليق الفيتامينات موجودة فى النبات والبكتريا، لذلك فالإنسان يحصل على الفيتامينات إما من تناوله للنباتات أو من تناوله لحوم حيوانات أكلت هذه النباتات، أو من حيوانات مجترية صنعت فى كرشها هذه الفيتامينات من طريق بكتريا الكرش. والفيتامينات تنقسم كما سبق ذكره إلى نوعين فيتامينات ذائبة فى الماء وفيتامينات غير ذائبة فى الماء (راجع عناصر الغذاء الرئيسية فى هذا الباب). والفيتامينات الذائبة فى الماء تكون أجزاء من معاونات الإنزيمية Coenzymes مثل الـ NAD⁺ ، الـ FAD والـ Coenzyme A. أما الفيتامينات الذائبة فى الدهن

لأنها لا تعمل كمعاونات إنزيمية لكنها لها وظائف أخرى فمثلا فيتامين A نقصه يسبب العمى (المس) الليلي Night blindness والسبب في ذلك أن هذا الفيتامين (V. A) يستخدم لتكوين حبيبات العين الحساسة للضوء Light sensitive pigments. وللزيادة من تناول الفيتامينات ليست نافعة بل في بعض الأحيان تكون ضارة بالجسم. فمثلا لا يؤدي زيادة معاونات الإنزيم Coenzymes إلى زيادة النشاط الإنزيمي بل يلزم كميات ضئيلة من معاونات الإنزيمات هذه لكي تقوم الإنزيمات بكامل نشاطها. وللزيادة من الفيتامينات إذا كانت ذائبة في الماء فهي تخرج من الجسم في البول عن طريق الكلى ويمكن أن يسبب ذلك إجهاد للكلى، أما إذا كانت ذائبة في الدهون فيمكن أن تترسب في دهن الجسم وفي بعض الأحيان تكون سامة. وبالتالي فنتركز الفيتامينات الذائبة في الماء في جسم الإنسان أو الحيوان يكون محدوداً بعكس الفيتامينات الذائبة في الدهن.

الباب الخامس

سوائل الجسم - آليات الإتزان الداخلي

ووسائل الإتصال الخلوي

Body Fluids, Homeostatic Mechanisms And Cellular Communication

سوائل الجسم Body Fluids :

مقدمة Introduction : سوائل الجسم هي الوسط الذي يحدث فيه غالباً كل التفاعلات البيولوجية ونقص هذه السوائل عن حجمها الطبيعي يسبب غالباً بعض الاضطرابات الفسيولوجية. وكلما زاد نقص هذه السوائل كلما تعرض الفرد للخطورة وفي الإنسان فهو لا يتحمل نقص هذه السوائل حتى يفقد ١٠% من وزن جسمه بعد ذلك تزداد احتمالات الوفاة، بينما تستطيع الأغنام والجمال تحمل نقص هذه السوائل حتى ٣٥% من وزن الجسم. ولذلك ندراسة مكونات هذه السوائل في الحيوان الحي يمكن عن طريقها معرفة ميكانيكية الاضطرابات الفسيولوجية التي تحدث كنتيجة لنقصها ويجدر الإشارة أولاً إلى أن جسم الإنسان أو الحيوان يتكون من مكونين هما :

١- سوائل الجسم الكلية Total body fluids

٢- المادة الصلبة الكلية بالجسم Total body solids

تقسيم (مكونات) سوائل الجسم Body Fluid Compartments :

Total body fluids (TBF)

سوائل الجسم الكلية



وتتكون السوائل الخارج خلوية من :

١- السوائل بين الخلوية Interstitial fluids

٢- بلازما الدم Blood plasma

٣- سوائل الكرش Rumen fluids (في الحيوانات المجترة)

٤- سوائل الملح والنفخ للشوكى الخ

٥- المسائل الأميوني (فى الإنث الحوامل).

أما السوائل داخل الخلايا فهى كل السوائل الموجودة داخل الخلايا لقط. وأهم وظائف سوائل الجسم هو نقل وتبادل المادة الخلقية - الهرمونات - الفلزات - المواد الأخرية وتنظيم درجة حرارة الجسم والمحمولة كما أنها تحدث بدخلها كل التفاعلات البيولوجية فى الجسم.

وأغلب وظائف سوائل الجسم هذه ترجع إلى احتوائها على ٩٥% ماء والذي يقوم بهذه الوظائف حيث أن للماء عديد من الخصائص الهامة مثل :

١- خاصية الإذابة العالية

٢- الحرارة النوعية

٣- حرارة التبخر

٤- حرارة التوصيل... الخ

وحيث أن سوائل الجسم تحتوى على كمية من الماء تقدر بحوالى ٩٥% منها لذلك فإن دراسة سوائل الجسم تعنى دراسة هذا الماء بمكوناته الثلاثة وهى :

كمية الماء الكلية (TBW) - كمية الماء داخل الخلايا Intracellular

water (ICW) وكمية الماء خارج الخلايا Extracellular water (ECW) .

إستخدام النظائر المشعة فى تقدير مكونات سوائل الجسم :

The Use Of Radioisotopes In Studying Body Fluid Compartments:

يتم تقدير كلا من TBW & ECW فى الحيوان الحى بالطرق المعملة أما تقدير ICW فسيهر نتج طرح الماء خارج الخلايا من الماء الكلى بالجسم.

$$TBW - ECW = ICW$$

كمية الماء الكلية - كمية الماء خارج الخلايا = كمية الماء داخل الخلايا.

تقدير كمية الماء الكلية Total Body Water Determination : أول طرق

لتقدير سوائل الجسم الكلية كانت تعتمد على وزن الحيوان ثم قتله ثم حرقه ثم يوضع فى فرن تجفيف مفرغ نسبيا من الهواء وبعد أن يجف تماما يوزن مرة أخرى والفرق بين الوزنتين هو وزن الماء. كما استخدمت الكثافة النوعية Specific gravity كطريقة أخرى لتقدير كمية الماء الكلية فى الحيوان وذلك بقتل الحيوان ثم وزنه فى الهواء العادى ثم بعد ذلك يوزن وهو مغمور فى الماء ثم يقسم وزن الحيوان فى الهواء إلى وزنين هما وزنه فى الماء والفرق بين وزنه مغمورا فى الماء ووزنه فى الهواء وبالتالى يمكن إستخراج الكثافة النوعية والتي لها علاقة بكمية الماء الكلية TBW.

ويعاب على الطريقتان السابقتان إهمال الحيوان نفسه حيث تعتمد الطريقة على قتل الحيوان وبالتالي لا يمكن أخذ قياسات أخرى عليه كما أنها طوق ليست بالدقة الكافية.

ولتقدير كمية الماء الكلية في الحيوان للحى فمكن إستخدام أى من المواد التالية:
Heavy water, Creatinine, Urea, alcohol and antipyrine. كما تستخدم النظائر المشعة مثل: $^3\text{H}_2\text{O}$ and tritiated water و ^{131}I -Labeled 4 iodo antipyrine.

وعند إختيار المادة التى سوف تستخدم لتقدير TBW يجب أن تتوفر فيها الصفات التالية ودرجة عالية: ١- أن تكون سهلة الذوبان فى الماء. ٢- أن تكون سهلة للنفاذ خلال Capillary endothelium, cell membranes and blood brain barrier. ٣- أن تكون سريعة الإنتشار والتوزيع فى كل سوائل الجسم. ٤- أن تكون بطيئة فى تمثيلها وإخراجها. ٥- غير سامة. ٦- يمكن تقديرها بطريقة كمية. ٧- أن يتم توزيعها بطريقة متجانسة (متماثلة) فى كل سوائل الجسم.

وعند مقارنة المواد السابقة نجد أن المادة التى تتميز بكل هذه الصفات والتى يمكن إستخدامها هى الماء المشع Tritiated water أما بقية المواد السابقة فلها عيب أو أكثر فمثلا الكريتينين واليوربا يعاب عليهما أنهما سريعما التمثيل Rapidly metabolized حيث تظهر كل الجرعة المعطاه فى البول Urine خلال ٢٤ ساعة بالإضافة إلى أن تقديراتهم الكيموفاية تحتاج إلى وقت وأحكياطات خاصة.

أما بالنسبة للأنتيبيرين Antipyrine والكحول وإستخدامهم فى تقدير الـ TBW فسيستخدمنا بطريقة مطلوه هذا بالإضافة إلى أنه يجب أن تكون نسبة الأنتيبيرين الموجود فى مياه الأمسجة إلى الأنتيبيرين الموجود فى مياه السيرم تساوى واحد صحيح فى جميع الحالات لكن نجد أن النسبة تكون ٠,٨٥ بالنسبة للعضلات Muscles و ٠,٦٧ بالنسبة للرئة Lung فى الأغنام مما يؤيد عدم التوزيع المتجانس الـ Antipyrine فى كل سوائل الجسم. بالإضافة إلى أنه وجد أن الـ Antipyrine ينتشر ببطئ من البلازما إلى مكونات الكرش بالإضافة إلى أن ٢٥% منه يتم تمثيله (هضمه) وإخراجه خلال الخمس ساعات الحرجة الأولى من بداية التقدير.

أما بالنسبة للـ ^{131}I -Labeled 4-iodo-antipyrine فله نفس عيوب الـ Antipyrine فيما عدا أنه كمادة مشعة فهو سهل وراق فى التقدير.

كما وجد أن ١٠-٢٠% من الـ ^{131}I يرتبط ببيروتيينات البلازما Plasma proteins و ٣-٥% يمتص بواسطة الغدة الدرقية Thyroid gland وبالتالي يؤدى إلى تقدير أعلا للـ TBW بإستخدام هذه الطريقة.

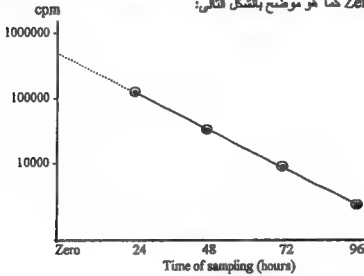
أما بالنسبة للماء الثقيل Heavy water والذي يحتوى على الـ $\text{Staple isotope deuterium}$ محل الهيدروجين فى جزئ الماء وجد أنه يعطى نتائج قريبة جداً بالنسبة للـ TBW لتلك الطرق طويلة الوقت الدقيقة إلا أنه يعاب على هذه الطريقة : ١- أنها تحتاج لتكاليف باهظة وأجهزة حديثة جداً عالية التكاليف. ٢- بالإضافة إلى أن الـ Deuterium atoms الموجودة فى الـ Heavy water وجد أنها يحدث لها تبادل مع الـ Hydrogen atoms للمواد العضوية المختلفة الموجودة فى الجسم وبالتالي يحدث خطأ فى التقدير يعادل ٥% زيادة فى الـ TBF.

ومن هذا المراد السابق نجد أن الـ Tritiated water والذي يحتوى على الـ Tritium المشع فى جزئ الماء بدلاً من الهيدروجين يقلل كل المميزات المطلوبة للتقدير الفعلى للـ TBW حيث أنه ينتشر بحرية تامة وبسرعة شديدة كما أن إنتشاره يكون متجانس (متماثل) فى مختلف سوائل الجسم. كما أنه يرتبط بدرجة ضعيفة جداً بالـ Plasma proteins كما أن تبادله مع الـ Hydrogen الموجود فى المادة العضوية أقل بكثير من الـ Deuterium. كما أن هدمه وتمثيله وإخراجه يتم ببطء فى الجسم كما أن لو غارتم تركيزه يتناقص تدريجياً فى خط مستقيم وفى عدة أيام (حوالى ٥ أيام تقريباً) - كما يمكن تقديره بدقة كبيرة فى سوائل الجسم المختلفة. كما أنه لا يتداخل مع أى مواد مشعة أو غير مشعة أخرى موجودة بالجسم - كما أنه غير سام ولا يشكل تلوث إشعاعى لو أنه أعطى بجرعات قليلة كما أنه يتناسب مع الطريقة المطلوبة للتقدير.

طريقة تقدير سوائل الجسم الكلية TBF فى الحيوان باستخدام الماء المشع

Tritiated Water: يمكن تلخيصها فى الخطوات التالية : (يلاحظ أن هذه الطريقة لا تستخدم فى الإنسان حيث الحقن بمواد مشعة) : ١- يحقن الحيوان تحت الجلد Sub cutaneously (بعد تناول الغذاء والماء لمدة ثلاث ساعات) بجرعة من Tritiated water. ($0.1 \text{ mc}/10 \text{ kg. live body w.}$) تسمح بإنتشار متماثل فى الجسم A uniform distribution in the body ويلاحظ أنه يجب أن تقلل كمية الغذاء والماء فى الستة ساعات التالية للحقن. ٢- بعد ذلك يتم جمع البول أو الدم من الوريد الودجى Jugular vein (وذلك بعد أن يسمح للحيوان أن يتناول الغذاء والماء بصفة منتظمة) ويتم جمع الدم بعد ٢٤ - ٤٨ - ٧٢ - ٩٦ - ١٢٠ ساعة من الحقن بالمادة المشعة. ٣- تجرى عملية طرد مركزى للمينات ويتم فصل البلازما ويؤخذ اسم^٣ من محلول الحقن ويعد على الـ Counter المناسب مركزى للمينات B-Scintillation Counter كما يؤخذ اسم^٣ من كل عينة بلازما وتعد أيضاً على نفس الـ counter وذلك بعد إضافة Insta Jell 10 ml liquid scintillation. ٤- ثم يضاف لكل الـ Vials مقدار ١,٠ سم^٣ من محلول الحقن وتعد مرة أخرى لحساب الـ Internal standard والذي

يُصحح الخطأ الناتج عن Quenching of color, chemical composition and physical structure of the samples. ويجب ملاحظة أن العينة + Internal standard يتم عددهم على Scintillation Counter بعد حفظهم لمدة ١٢ ساعة على الأقل في إظلام تام داخل الجهاز إلى درجة الحرارة الباردة للجهاز [يلاحظ أن داخل الجهاز عبارة عن ثلاجة أيضا تحافظ على درجة الحرارة باردة باستمرار]. -٥- بعد ذلك يتم تصحيح الـ Activity للـ Quenching وبعد طرح الـ Background الخاص بالجهاز، -٦- ثم تؤخذ الـ Corrected activity وتوقع على Semi logarithmic paper ثم يمد خط الملتحي حتى يقابل المحور Y وذلك لحساب الـ TBF المترفعة وقت الحقن Zero time كما هو موضح بالشكل التالي:



ثم يتم حساب الـ TBF من المعادلة التالية :

$$TBF = \frac{\text{Average total activity of the injected solution}}{\text{corrected activity of the sample}}$$

ملحوظة : في حالة عدم إمكانية رسم خط مستقيم (وجود النقاط على مستويات متباعدة بعض الشيء) يمكن استخدام معادلة خط الإحداد (Last squar method) ثم تحسب سوائل الجسم الكلية بالتر لكل ١٠٠ كجم وزن جسم TBF (liter)/100 kg body weight.

Extra Cellular Water (ECF) كتعريف هي تلك الجزء من الماء الكلي بالجسم والموجود خارج الخلايا وهو عبارة عن ١- ماء البلازما plasma water -٢- الماء بين الخلايا The interstitial water -٣- الماء الموجود في الأنسجة الضامة وسوائل الملح وللنخاع الشوكي وسوائل القناة الهضمية

والكرش في الحيوانات المجتررة - وسوائل الكيس الأميوني/في النساء الحوامل - وجميع السوائل الموجودة خارج الخلايا.

وتقدير الـ ECF عن طريق الـ Dilution technique لا يكون له درجة الدقة مثل تقدير TBW عن طريق الـ Tritiated water وعدم الدقة هذه ناتجة عن صعوبة الحصول على مادة تنتشر بسرعة وبحرية في كل السوائل الخارج خلوية التي ذكرت سابقاً مع بطء افتقارها عن طريق الـ Metabolism أثناء تقدير الـ ECF في الحيوان والذي يستغرق من ٤-٦ ساعات تقريباً. كما أنه من الصعوبة أيضاً أن نجد مادة تنتشر بالتحديد خارج الخلايا ولا يمكنها الدخول في جميع الأحوال إلى الخلايا. والمواد المأخوذة في الاعتبار هنا هي : Inulin, sucrose, mannitol, sulphate, thiocyanate, sodium and bromide. كل هذه المواد قد استخدمت في قياس الـ Extracellular space ولكن هناك ملاحظات عامة عليهم جميعاً وهي : أنه بالرغم من أن الجزيء الكبير للدليل المستخدم مثل الـ Inulin أو Sucrose والـ Mannitol لا يخترق الـ Cell membrane على أي مستوى إلا أنه لا ينتشر بسرعة في الـ Collagen and transcellular water وهذا هو السبب في نقص الـ ECF المقدر بهذه المواد عن الـ ECF الذي يتم تقديره بمواد أخرى.

وبالرغم من أن الـ Radioactive substances تؤدي إلى زيادة دقة التقدير إلا أن هناك بعض النقاط الهامة التي تؤخذ على بعض منها فمثلاً الـ Radioactive sulphate وجد أنه يعطى تقديرات مماثلة للـ Inulin ولذلك فلا ينصح باستخدامه. كما أن الـ Radioactive sodium ^{22}Na or ^{24}Na مشابه في طريقة أدائه للـ Thiocyanate فهو يخترق لحد ما جدر الخلايا كما أنه يتبادل مع الصوديوم الموجود في العظام وبالتالي تظهر التقديرات أعلا من التقديرات الحقيقية للـ ECF.

هذا ويعتقد أن الـ Radiactive bromine (^{82}Br) هو الـ Tracer محل الاختيار لتقدير الـ ECF وذلك لملامته لهذا التقدير كما أنه يظل محصور أو محدد لدخل الـ ECF ولا يخترق الجدر الخلوية تقريباً. كما أنه يتم توزيعه وإزالته بعد ٦ ساعات من الحقن تقريباً.

السوائل داخل الخلايا (ICF) : Intra Cellular Fluid (ICF) : وهذه يتم تقديرها حسابياً عن

طريق طرح الـ ECF من الـ TBF : $\text{ICF} = \text{TBF} - \text{ECF}$

لتقدير حجم الدم Blood Volume Determination : يتم تقدير الـ Blood volume (BV) عن طريق الـ RBC (s) volume وحساب الـ Hematocrite value وبذلك يمكن حسابياً تقدير الـ BV ثم تقدير الـ Plasma volume. ويتم تقدير الـ RBC (s) volume باستخدام الكروميوم المشع $\text{Na}_2^{51}\text{CrO}_4$.

Interstitial and Transcellular Water لا توجد طريقة مباشرة لتقدير الـ
Interstitial and transcellular spaces ولكنها تقدر حسابيا بطرح الـ
Intravascular space من الـ Extracellular space .

Interstitial and transcellular volume = extra cellular space - intravascular space

البيئة الداخلية والإتزان الداخلي : Internal Environment And Homeostasis

التفاعلات الكيميائية داخل الخلايا لإنتاج الطاقة تتمثل غالبا في جميع الخلايا من ناحية
إستخدامها للأكسجين وطردها ثنائي أكسيد الكربون. فمثلا خلية الأميبا Amoeba و خلية كبد الإنسان
يحصلان على الطاقة عن طريق هدمهما لأغذية ضرورية معينة. فكل الخليتين يحصلان على الأكسجين
ويقومان بإنتاج ثاني أكسيد الكربون. فالأميبا تحصل على الأكسجين مباشرة من البيئة الخارجية
External environment كما تقوم بطردها ثاني أكسيد الكربون إلى هذه البيئة. أما خلية كبد الإنسان
وبالقي خلايا الجسم الأخرى فهي غير متصلة بالهواء الجوي (البيئة الخارجية) مباشرة حتى تأخذ منه
الأكسجين وتطردها إليه ثاني أكسيد الكربون. ولذلك يقوم الجهاز التنفسي Respiratory system بعملية
التبادل الغازي هذه. حيث يأخذ الأكسجين من الهواء الجوي ويحمله الدم ويقوم بتوزيعه على كل خلايا
الجسم كما يقوم الدم بحمل ثاني أكسيد الكربون المتكون ويوصله للترتين لطرده إلى الهواء الجوي. نفس
الشئ يقوم به الجهاز الهضمي Digestive system حيث يقوم بالنقاط الغذاء من البيئة وضمه ويقوم
لدم بحمل العناصر الغذائية للممتصة لكل خلايا الجسم.... الخ. أيضا الكليتين يقومان بترشيح الدم
وتنظيم تركيزات الماء والعديد من الأملاح الأساسية في بلازما الدم كما يقوم الجهاز المناعي
Immune system والجهاز العصبي Nervous system والجهاز الهرموني Hormonal system
بالتنسيق وتنظيم أنشطة ووظائف خلايا أجهزة الجسم المختلفة. أي أن نشاط كل هذه الأجهزة المختلفة
هو خلق بيئة داخل الجسم تمكن الخلايا من الحياة وإداء وظيفتها. هذه البيئة المحيطة بكل خلية تسمى
البيئة الداخلية Internal environment وهي عبارة عن السوائل الخارج خلوية Extracellular
fluids وهذا يعنى أن البيئة التي تعيش فيها كل خلية ليست البيئة الخارجية المحيطة بكامل الجسم وهي
الهواء (في حالة الإنسان والحيوان) والماء (في حالة الأسماك) ولكنها السوائل الخارج خلوية المحيطة
بخلايا الجسم فمن هذه السوائل الخارج خلوية تحصل الخلايا على الأكسجين والعناصر الغذائية كما
تطرد الخلايا إليها ثاني أكسيد الكربون ونواتج الهضم بالخلاية. وكل المعلومات الحيوية في جسم الكائن
عديد الخلايا لها هدف واحد هو ثبات للحالة المعيشية للبيئة الداخلية (السوائل خارج خلوية) ولذلك

فالكائن عديد الخلايا يمكنه المحافظة على حالته طالما كان قادرا على المحافظة على تركيب بيئته الداخلية في حالة تناسب المحافظة على حياة خلايا جسمه.

والإتزان الداخلي Homeostasis يعنى المحافظة على تركيب البيئة الداخلية (في هذه الحالة البيئة الداخلية هنا هي سوائل الجسم الخارج خلوية) ثابتا نسبيا. والإتزان الداخلي لاى مكون فى الجسم يعنى للثبات النسبى لهذا المكون لذا فهناك تغيرات تحدث فى هذا المكون لكن هذه التغيرات تحدث فى حدود ضيقة. ومثل هذا الثبات يمكن إيجازه فقط من خلال العمليات الفسيولوجية. حيث يتم تنظيم أنشطة ووظائف خلايا الجسم وأنسجته وأعضائه بحيث أن أى تغير فى السائل الخارج خلوى ينشأ له تقايل فى الجسم يودى إلى تحجيم هذا التغير. ولذلك فالأعضاء أو التراكيب الموجودة بالجسم والتي تعمل على المحافظة على الثبات النسبى للصفات الطبيعية والكيميائية للبيئة الداخلية تسمى **بجهاز تنظيم التوازن الداخلى Homeostatic control system** ومثال من هذه الأمثلة هو **الإتزان الداخلى Homeostasis** لدرجة حرارة الجسم **Body temperature**، فدرجة الحرارة الطبيعية تحت اللسان للإنسان تتراوح ما بين ٣٦,٦ إلى ٣٧,٢°م وعند زيادة درجة الحرارة يعرق الإنسان كنتيجة لزيادة إفراز الناقل العصبى **Acetyl choline** هذا العرق يطفئ من درجة حرارة الجسم. ومثال آخر هو نقص الأكسجين للجوى، هذا النقص يودى إلى نقص لكسجين الدم عن المستوى الطبيعى هذا النقص ينبه الجهاز العصبى الذى يقوم بتنشيط المضلات الهيكلية المسؤولة عن زيادة الحركات التنفسية (معدلات التنفس) وينتج عن ذلك زيادة دخول الهواء للرئتين وإعادة أكسجين الدم لتركيزه الطبيعى.

نشاط الخلية : النشاط الإجمالى لكل خلية فى الجسم يمكن تقسيمه إلى قسمين : -١- وظائف تمثل الحد الأدنى من الوظائف التى تقوم بها الخلية للمحافظة على حياتها وتتمثل هذه الوظائف فى العمليات الخلوية الجوهرية الأساسية مثل مرور المواد عبر جدار الخلية، تخليق البروتين، إنتاج الطاقة، وما إلى ذلك والعمليات الجوهرية التى تقوم بها الخلية الفردية يتم تنظيمها بواسطة آليات داخل الخلية وهى التى تحدد نوع البروتين المطلوب الذى تقوم بتخليقه الخلية مثلاً، كما تنظم هذه الآليات الحد الأقصى لنمو الخلية أيضاً. كما تنظم عملية بدء وسرعة إنتسالم الخلية ومتى يقف هذا الإنتسالم. -٢- تقوم الخلية أيضاً وفى نفس الوقت بنشاط تخصصى واحد أو أكثر مع الأنشطة الأخرى التى تقوم بها الخلايا الأخرى فى نفس النسيج أو العضو أو الجهاز وذلك للمحافظة على حياة الفرد حيث تقوم بمساعدته على الثبات النسبى للبيئة الداخلية والذي يعتبر ضرورى وهام لكل خلايا الجسم.

الخصائص العامة لأجهزة تنظيم الإتزان الداخلى : General Characteristics Of

Homeostatic Control Systems : كما ذكرنا من قبل فوظيفة ونشاط الخلايا والأنسجة والأعضاء تنظم بطريقة تكاملية (أى تتكامل مع بعضها ليحدث إتزان داخلى لوظائف الجسم كله).

ولذلك فعند حدوث أى خال أو تغير فى السوائل الخارج حلوية فيه ينبثق عدة تفاعلات خاصة تؤدي إلى تقليل آثار هذا التغير بأكبر قدر ممكن. هذه التفاعلات تحدث كنتيجة للإستجابات التنظيمية الترموضية والتي تتم بواسطة أجهزة تنظيم الإيزان الداخلى Homeostatic control systems وبالتالي فلما ذكرنا من قبل معنى مصطلح التوازن الداخلى Homeostasis حالة الثبات النسبى للبيئة الداخلية لأى عامل أو مكون بالجسم ولوضع مثال لذلك هو درجة حرارة الجسم فى ذوات الدم الحار (الإنسان والثدييات مثلا). وكما ذكرنا لدرجة حرارة تحت اللسان فى الإنسان هـى من ٣٦,٦ إلى ٣٧,٢ م فلو وضع هذا الإنسان فى غرفة درجة حرارتها ٥٥ م ففى هذه الحالة سوف يفقد حرارة من سطح جسمه للجو المحيط وأيضا سوف تزداد معدلات التمثيل الغذائى (تفاعلات بالجسم) فيزداد الإنتاج الحرارى Heat production فى جسمه وتصبح معدلات فقد الحرارة Heat loss متساوية لمعدلات الإنتاج الحرارى Heat production فتظل درجة حرارة جسمه فى حالة ثابتة، وفى هذه الحالة يكون هذا النظام فى حالة ثبات Steady state وحالة الثبات هذه تعنى أن النظام لا يتغير فيه متغير ودرجة الحرارة هنا هى المتغير. والسبب فى عدم تغيرها هو أن الداخلى In put يساوى الخارج Out put أى تظل درجة حرارة الجسم ثابتة نظرا للإيزان الحادث بين الفقد الحرارى والإنتاج الحرارى ولإيضاح ذلك نضرب هذا المثال فلو فرضنا إنخفاض درجة الحرارة المحيطة بالحيوان أو الإنسان إلى حوالى ٥٧ م مثلا سوف يزداد الفرق بين درجة حرارة سطح الجسم والبيئة المحيطة به وبالتالي تزداد معدلات فقد الحرارة Heat loss وبالتالي تقل درجة حرارة الجسم ويبدأ الجسم للإستجابة لهذا التفسير عن طريق: ١- عمل رعشة Shivering فتزداد الحرارة الناتجة من رعشة العضلات وبالتالي يزداد الإنتاج الحرارى. ٢- يعمل انقباض للأوعية الدموية الموصلة للجلد Skin vasoconstriction وبالتالي يقل توارد الدم للجلد وبالتالي يقل معدلات الفقد الحرارى. ٣- تزداد إفرازات الهرمونات المسببة لإنتاج الطاقة مثل هرمونات الكورتيزول (المفرز من قشرة الغدة الجاركلوية) و T_3 & T_4 (المفرزان من الغدة الدرقية) وبالتالي يزداد معدل التمثيل القاعدى (الأساسى) Basal metabolic rate كل ما فعله الجسم هذا يؤدي إلى أمرين: الأول هو تقليل الفقد الحرارى والثانى هو زيادة الإنتاج الحرارى وبالتالي يستطيع الجسم المحافظة على درجة حرارته كما هى عن طريق الإيزان الحادث بين الفقد الحرارى والإنتاج الحرارى. وكل ما ذكر سابقا فهو يقع تحت عنوان التنظيم الحرارى الفسيولوجى Physiological thermoregulation وهناك أيضا تنظيم حرارى سلوكى (عن طريق السلوك) Behavioral thermoregulation فى الإنسان مثلا وفى حالة التعرض للجو البارد تزداد حدة الرغبة فى ارتداء الملابس الثقيلة والمتكونة من عدة طبقات حتى تزداد قدرتها على العزل لمنع

لننقد الحرارى (ارتداء عدة طبقات من الملابس تزيد قدرتها على العزل حيث وجود الهواء بين الطبقة والطبقة التالية لها) ولتوضيح ذلك فالحول الجلوس فى أماكن بعيدة عن التيارات الهوائية ... الخ من تصرفات الإنسان لتلافي الجو البارد. أما بالنسبة للحيوان فنجد أن الحيوانات تتجمع بجوار بعضها بطريقة متداخلة ومتلاصقة مع بعضها البعض وفى ركن بعيد عن الهواء فى الحظيرة ... الخ من سلوك الحيوان أثناء الجو البارد وبالتالى فهناك عدة قواعد عامة هامة يمكن الإستدلال عليها، مما سبق ومما سوف نتعرض له بالمناقشة بإذن الله هى: القاعدة الأولى وهى أن الجسم يقوم بعمل ثابت نسبى لمتغير ما (درجة حرارة الجسم مثلا) عن طريق الموازنة ما بين الدخول In put (الحرارة المكتسبة أو الإنتاج الحرارى) مع الخارج Out put (الحرارة المفقودة). والقاعدة الثانية : أن التوازن الداخلى Homeostasis أو حالة الثبات النسبى لمتغير ما (درجة حرارة الجسم مثلا) بالبيئة الداخلية لا يعتمد على الكمية المطلقة للدخل والخارج ولكنه يعتمد فقط على حدوث توازن بينهما. والقاعدة الثالثة أنه لا تستطيع آليات الإرتزان الداخلى Homeostasis أن تحافظ على الثبات النسبى الكامل للبيئة الداخلية Internal environment فى حالة إستمرار التغيرات فى البيئة الخارجية External environment ولكنها تستطيع فقط تحجيم هذه التغيرات. ولتوضيح ذلك فى مثال درجة حرارة الجسم السابق نجد دائما أن درجة حرارة الجسم للإنسان والحيوان أقل فى الشتاء منه فى الصيف هذا المقدار يقدر بحوالى 0.6°C فى الإنسان وحوالى 0.3°C فى الأغنام مثلا. أما القاعدة الرابعة : فبالنسبة لنفس الفرد سواء الإنسان أو الحيوان لا يتم تنظيم أى متغير فى الجسم بإعطائه قيمة واحدة ثابتة (بمعنى أن نقول أن درجة حرارة تحت اللسان هى 37°C لهذا الفرد مثلا). لكن هذا المتغير يتغير فى مدى ضيق حول القيمة الطبيعية (بمعنى أن نقول مثلا أن درجة حرارة تحت اللسان لهذا الفرد فى حالته الطبيعية والصحية الجيدة هى ما بين 36.6°C إلى 37.2°C مثلا) وكلما زادت درجة دقة وحساسية وتمكن آليات الإرتزان الداخلى Homeostatic mechanisms كلما قل المدى الذى يتغير فيه هذا المتغير (درجة حرارة الجسم فى المثال السابق مثلا). أما القاعدة الخامسة : أن آليات الإرتزان الداخلى Homeostatic mechanisms لا تستطيع المحافظة على كل القيم (المتغيرات Variables) ثابتة نسبيا ولإيضاح ذلك نسوق مثالين الأول أن هناك درجة حرارة للجسم موضوعه Body temperature operating point هذه الدرجة تحاول الجسم المحافظة عليها، لكن عند إصابة الفرد بالحمى Fever مثلا يضع الجسم لنفسه درجة حرارة موضوعه أخرى (نقطة موضوعه Operating point) هذه الدرجة أعلا من درجة حرارة الجسم العادية وذلك كاستجابة تكيفية لمحاربة العدوى. والمثال الثانى أننا نتذكر عندما تحدثنا عن تنظيم درجة حرارة الجسم أنه لى يحافظ الجسم على

درجة حرارته تم تعديل نقاط موضوعه لنظم أخرى كثيرة فمثلا تم زيادة مستوى هرمونات الكورتيزول و T_3 & T_4 كما تم عمل إنقباض للأوعية الدموية الموصلة للجلد بالإضافة لعمل رشفة ... الخ وبالتالي فلم يتم المحافظة على درجة حرارة الجسم إلا من خلال تغيرات كبيرة في نقاط موضعيه قد حدثت وتم تحريك هذه النقاط عن القيمة الطبيعية وهو ما يسمى بتضارب الإحتياجات Clashing demands.

هذا ويجدر الإشارة أن آليات الإيزان الداخلي عموما تعمل غالبا (في معظم الحالات) عن طريق التنظيم الرجعي السالب Negative feedback mechanism وعملية التنظيم الحرارى Thermoregulation السابق وصفها تعطى مثلا عن التنظيم الرجعي السالب حيث أدى نقص درجة حرارة الجسم إلى إستجابات ترفع من درجة حرارة للجسم أى تحركها فى إتجاه القيمة الأصلية، أى تؤدي الزيادة أو النقص فى المتغير الذى يخضع للتنظيم الرجعي السالب إلى إستجابات تحرك هذا المتغير فى إتجاه مضاد لإتجاه التغير المبدئى. وهناك نظام آخر فى آليات الإيزان الداخلي ولكنه غير شائع (قليل) الحدوث وهو التنظيم الرجعي الموجب Positive feedback mechanism حيث ينشأ عن خلال الحادث فى البداية هنا سلسلة من التفاعلات تؤدي إلى زيادة هذا الخلل بدلا من نقصه ولذلك فهذا التنظيم لا يعمل على حدوث الثبات النسبى للمتغير بل يؤدي إلى تحرك سريع فجائى بعيدا عن النقطة الموضوعه ومن أمثلة ذلك تجلط الدم Blood clotting، والزيادة الكبيرة المفاجئة فى الهرمون المحثث للتبويض LH فى الإناث عند التبويض Ovulation.

نظم التغذية (إلى الأمام) (هجوى للأمام) Feedforward Regulations : هذه النظم تعمل بجانب التنظيم (التقويم) الرجعي السالب حيث أن هذه النظم تقوم بالهجوم بفرض ثبات المتغير قبل أن يتغير ذلك المتغير. ولتضرب مثال للمتغير بدرجة حرارة الجسم. فعند إنخفاض درجة حرارة الجو يستقبل هذا خلايا عصبية مستقبلات للحرارة موجودة على سطح الجسم الخارجى Thermoreceptor cells هذه الخلايا تقوم بسرعة بإرسال إشارات إلى المخ Brain بأن هناك إنخفاض فى درجة الحرارة للجوية فيقوم الجسم بإرسال تنبيهات إلى أجهزة الإيزان الداخلى المعنية بذلك فيتم إنقباض لشعيرات الدموية الموصلة للجلد كما يزداد الإنتاج الحرارى بالجسم ... الخ الأمر الذى يؤدي إلى المحافظة على الثبات النسبى لدرجة حرارة الجسم الداخلية قبل أن تنغير كنتيجة لإنخفاض درجة الحرارة الجوية. ولذلك يمكن تعريف نظم التغذية للأمام Feedforward Regulations بأنها نظم تتوقع له سوف تحدث متغيرات فى المتغير الخاضع للتنظيم (إلى مثلنا هذا درجة الحرارة الداخلية للجسم) وبالتالي تقوم بعمل عدة صليات بيولوجية من شأنها تحسين سرعة الإستجابات المنظمة للتوازن الداخلى وبالتالي تمنع أو تحد من التغيرات فى مستوى المتغير الخاضع للتنظيم.

التأقلم Acclimatization : لمعرفة للتأقلم يجب أولاً أن نتعرض للكلمة (التكيف) Adaptation والتي تعني أن الفرد له صفات وخصائص تشجعه وتعينه، وتجمعه قادر على المعيشة في بيئة معينة كما أنه يورث هذه الصفات لأبناؤه. أما قدرة فرد على التأقلم لضغط بيئي ليست ثابتة ولكن يمكن تعديلها بعد التعرض لمدة طويلة نسبياً لذلك الضغط البيئي ويسمى هذا النوع بالتأقلم Acclimatization. وتوضيح ذلك فلو فرضنا أن شخص يجرى كل يوم لمدة ساعة تحت درجة حرارة عالية Heat stress بعد عشرة أيام سوف يبدأ في إفراز العرق بعد مدة أقصر من اليوم الأول وبخلافه أكثر من اليوم الأول وبالتالي يكون للتغير في درجة حرارة جسمه أثر أيضاً من اليوم الأول وبالتالي يكون هذا الفرد أصبح متكافلاً للحرارة Acclimatized to heat وبذلك يمكن القول بأن التأقلم Acclimatization : هو عبارة عن تغير تحدثه البيئة في آليات الإكتران الداخلي Homeostatic mechanisms والتي هي موجودة فعلاً بالجسم ولها أساس أو أصل ورثي (يمكن أن يكون ذلك عن طريق تنشيط مواقع جينية على الكروموسوم لتبدأ العمل بعد أن كانت لا تعمل). وتزداد المقدرة على التأقلم كلما طالت فترة التعرض للضغط البيئي وتعود الحالة لما كانت عليه من قبل بعد زوال الضغط البيئي ويسمى ذلك بالتأقلم العكسي. أما التأقلم الغير عكسي فيحدث كنتيجة لحدوث التأقلم في فترة مبكرة من عمر الفرد وهي الفترة الحرجة في تطور وتركيب الفرد ويسمى هذا النوع من التأقلم بالتأقلم التطوري Developmental acclimatization.

الإيقاعات البيولوجية (النظم البيولوجية) Biological Rhythms : هناك ظاهرة بالنسبة للعديد من القياسات البيولوجية والعديد من وظائف الجسم وهي أن هذه القياسات أو الوظائف تأخذ طابعاً خاصاً في أنها تتغير بنظم معينة Rhythmical changes ويصنف إلى Diurnal rhythm والـ Circadian rhythm هي النظم الأكثر شيوعاً حيث يتكرر فيها الإيقاع مرة كل ٢٤ ساعة مثل الإستيقاظ Spring واليوم Sleeping ودرجة حرارة الجسم وإفراز الأيونات في البول وتركيز الهرمونات في الدم. وهناك أيضاً إيقاعات (دورات) أخرى تحدث كل دورة قمرية مثل دورة الطمث في النساء Menstrual cycle وهناك أيضاً إيقاعات موسمية Seasonal rhythms مثل موسم التكاثر في الأغنام مثلاً. وهذه الإيقاعات البيولوجية تسببها عوامل بدخل الجسم كما أن للعوامل البيئية دخل بتوقيت حدوث هذه الإيقاعات. ومثالاً لذلك يرتفع مستوى هرمون الكورتيزول ليصل أقصاه في ساعات الصباح الأولى بالنسبة للإنسان (مع بداية فترة النشاط) وبالعكس هذا الـ Rhythm بالنسبة للغزال فيكون أقصاه مع الدخول في فترات الليل (بداية فترة النشاط أيضاً). وأيضاً تساقط الشعر Hair shedding الموسمي بالنسبة للإنسان والأغنام مثلاً فيزداد معدلات تساقط الشعر في الخريف والربيع عنه في الصيف

والشتاء. ومثال آخر له **Seasonal rhythm** وهي ظاهرة القش (زوال الريش) في الجاج وإنسلاح جلد الثعبان مرة كل سنة وكل هذه الإيقاعات البيولوجية ينظمها عاملين ذات علاقة ببعضها العامل الأول وهو الساعة البيولوجية أو الساعة الداخلية في الجسم **Biological or internal clock** والعوامل (الظروف) البيئية المحيطة بالحيوان وأهم هذه الظروف البيئية هو نظام الإضاءة إلى النظام **Light to darkness ratio** قد قال رينا سبجانه وتعالى "إن في خلق السموات والأرض وإختلاف الليل والنهار لأيات لأولي الألباب". ولذلك لملاح التوقيت البيئي تسبب إعادة ضبط الساعة الداخلية **Reset for the internal clock** حيث تتبدل دورة النوم واليقظة ببطء للمسافر بالطائرة للنصف المقابل من الكرة الأرضية وذلك بسبب إختلاف التوقيت في اتجاه دورة الإضاءة والنظام الجديد. ولكن هذه التحديات تأخذ وقتا حيث يستمر الشخص على النظام السابق لمدة أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع تقريباً حيث تظهر في هذه الفترة الأعراض التي تسمى **Jet lag** والتي ترجع إلى إختلاف التوقيت الداخلي **Internal clock** مع التوقيت الخارجى وتشمل هذه الأعراض إختلال النوم وبعض الاضطرابات المعوية المعوية وإخفاض اليقظة وشعور عام بالإتزعاج. وهذه الأعراض تحدث أيضا في بعض الأحيان في العمال الذين يعملون ليلا ويصنف مستمرة. ولتحكم العصبي في هذا النظام يرجع لمنطقة في المخ تسمى تحت المهاد **Hypothalamus** والتي تحتوى على عديد من تجمعات خلايا عصبية متخصصة تعمل كضابطة للإيقاع أو النبض بمعنى أنها تحدد سرعة الإطلاق **Pacemaker** أى أنها تعمل كمساعة بيولوجية **Biological clock** لهذه النظم حيث تستقبل هذه المنطقة **In put** المعلومات أو التأثيرات التي تحدثها البيئة الخارجية والتي ترد إليها من العين ومن المستقبلات العصبية الموجودة على سطح الجسم كله ومن مناطق متعددة أخرى بالجهاز العصبى.

هذا ويجدر الإشارة هنا إلى أنه هناك علاقات تداخلية قوية ما بين النظم (الإيقاعات) البيولوجية **Biological rhythms** والإتزان الداخلى **Homeostasis** فكما علمنا أن الإتزان الداخلى يتم عن طريق بعض آليات الإتزان مثل للتظيم لرجعى السالب والذي فيه تعمل هذه الآليات على إحداث الإتزان بعد حدوث التغير، ونظم التغذية للأمام **Feedforward regulation** والتي تعمل على مقاومة التغير قبل حدوثه. أما بالنسبة للإيقاعات البيولوجية فنجد أن هذه النظم تؤدي إلى إستخدام آليات الإتزان الداخلى في الحال وبطريقة أوتوماتيكية منتظمة حيث تقوم بتنشيط هذه الآليات في الأوقات التي يتوقع فيها المواجهه ولكن قيل أن تحدث هذه المواجهة فعليا ولنضرب مثلا فمستوى هرمون النمو يصل أكماله الساعة الثانية إلى الثالثة صباحا تقريبا معروف أن هذا الهرمون يصل للكبد ويسبب تخليق عامل يسمى **Insulin-like growth factor** ويستغرق تكوين هذا العامل حوالي 5 ساعات وهذا العامل يسبب زيادة سكر الدم وبالتالي يزداد سكر الدم مع بداية فترات النشاط في

الإنسان من ٧-٨ صباحاً وبالتالي فقد عمل هذا الإيقاع البيولوجي على مواجهة فترة النشاط قبل حدوثها بخمس إلى ست ساعات. وأيضاً يجدر الإشارة أن هذه الإيقاعات البيولوجية تساعد الجسم أيضاً على مقاومة الأنواع المختلفة من الضغوط. وأيضاً فقد وجد أن لأعراض بعض الأمراض إيقاعات بيولوجية فضلاً عن الأزمات الربوية تكفي في المساء غالباً. ولذا ينصح بإعطاء الدواء في المساء كما أن الأزمات القلبية Heart attack تكون ضعف المعتاد في الساعات الأولى بعد القيام من النوم لذا ينصح بتعاطي الدواء من منتصف الليل إلى الثامنة صباحاً. كما أفاد معرفة هذه النظم البيولوجية أيضاً في علاج مرض السرطان Cancer فالعلاج بالمقاوير الكيميائية يقتل فقط الخلايا التي تنقسم بسرعة وبالتالي فهو يدمر خلايا السرطان لأنها تنقسم بسرعة كما يقتل أيضاً خلايا الجسم التي تنقسم بسرعة مثل الخلايا المبطنة للأمعاء فيسبب ذلك الإصابة بالإسهال وقد وجد أن الخلايا المبطنة للأمعاء لها إيقاع بيولوجي من حيث معدلات انقسامها فهي تنقسم ببطء شديد خلال فترات النوم في المساء ولذلك يتم إعطاء المرضى العقار الكيماوي في المساء كمحاولة لتلافي ولتجسيم التأثير السمي لهذا العقار على هذه الخلايا.

الارتان الداخلي والشيخوخة Aging And Homeostasis : أعراض الشيخوخة الفسيولوجية تشمل تدهور تدريجي في كل خلايا وأنسجة وأجهزة الجسم، وأيضاً في مقدرة البنيات الإحتران الداخلي Homeostatic mechanisms على الإستجابة ومقاومة للضغوط البيئية المختلفة وهو ما يسمى في مجمله بتدهور الحالة الصحية للفرد. ولذلك فمظاهر الشيخوخة تشمل نقص إنقسام الخلايا وزيادة معدلات موت الخلايا وبالتالي يسبب نقص عدد خلايا الجسم كما يكون هناك بعض القصور الوظيفي لباقي خلايا الجسم الحية. وقد حاول علماء كثيرون معرفة أسباب الشيخوخة وعزى البعض ذلك إلى حدوث تشويش (معلومات خاطئة) في وظائف الـ DNA والـ RNA وبعض بروتينات الخلية، أو خطأ في عملية تبادل المعلومات بين الـ DNA والميتوكلزم، لكن أسباب ذلك غير معلومة حتى الآن وهناك رأي آخر يقول أن العوامل الوراثية (الجينات) المسؤولة عن الشيخوخة تنشط وتبدأ عملها في وقت متأخر (سرعة الجين تجعله يبدأ في العمل في هذا الوقت من العمر).

مكونات أجهزة التوازن الداخلي Components Of Homeostatic Systems

Systems : الأفعال الإنعكاسية Reflexes : الفعل الإنعكاسي ينقسم إلى نوعين من الأفعال الإنعكاسية فعل إنعكاسي قاعدي (أو أساسي) وفعل إنعكاسي مكتسب. وبالنسبة للفعل الإنعكاسي القاعدي فهو عبارة عن إستجابة لا إرادية Involuntary غير متمدة Unpremediated غير متعلمة Unlearned وذاتية Built-in. وتعمل تنبيه ومثال ذلك هو سحب اليد عندما توضع على شيء ساخن

وقل جفون العين عند وجود شيء متحرك أمامها. وهناك إستجابات متعددة تبدو ذاتية أيضا لكنها ناتجة عن التعلم أو التدريب. ولذا فهي تسمى الأفعال الإنعكاسية المكتسبة، لكن حقيقة الأمر أنه لا توجد حدود واضحة بين الأفعال للقاعدية والمكتسبة. والطريق أو الممر pathway الذي يمر فيه الفعل الإنعكاسي يسمى بالقرنوس الإنعكاسي وهو ما سوف نتحدث عنه بالتفصيل بإذن الله في باب الجهاز العصبي. وتعبير الفعل الإنعكاسي كان محددا في الماضي على الإنعكاسات التي تعتبر كحل مكوناتها موجودة بالجهاز العصبي أما الآن فقد اتسع هذا التعريف ليشمل جهاز الغدد الصماء (الهرمونات) والأنسجة العضلية ولذلك فالآن يدخل في مكونات الفعل الإنعكاسي بجانب الجهاز العصبي نوعين من الأنسجة وهما الأنسجة العضلية Muscle tissues والأنسجة الغدية Glandular epithelium.

إستجابات الإتران الداخلي للموضعية Local Homeostatic Responses :

هذه مجموعة أخرى من الإستجابات غير الأفعال الإنعكاسية. فعند حدوث تغير في البيئة الداخلية أو البيئة الخارجية لهذا التغير يعتبر تنبيه ويؤدي هذا التنبيه إلى تغير في النشاط الخلوي تكون نتيجته النهائية مضادة للتنبيه، أي أن هذه الإستجابة مثل كل الإستجابات التي تبدأ بالتنبيه وتنتهي بالإستجابة ولكنها تختلف عن الإستجابات الأخرى (للفعل الإنعكاسي) في أنها تحدث فقط في منطقة التنبيه ومثالا لذلك فعند حدوث جرح في الجلد تستجيب الخلايا في موضع الجرح وتبدأ في إفراز Epidermal growth factor (EGF) والذي يسبب زيادة إقسام الخلايا في مكان الجرح ليأتم الجرح، بالإضافة إلى إفراز الخلايا في موضع الجرح لبعض المواد الكيميائية والتي تعمل موضعيا للدفاع عن أي هجوم آخر على للجرح. ومثال آخر: عندما تقوم أي عضلة في الجسم بمجهود تفرز مواد كيميائية في السائل الخارج خلوي ECF هذه المواد الكيميائية تسبب إتساع الأوعية الدموية في موضع العضلة مما يسمح بتوراد الدم بكميات أكبر للعضلة (راجع الجهاز الدوري بالباب المباشر).

الاتصال الخلوي Cellular Communication

أنواع الرسائل الكيميائية بين خلوية Types Of Intercellular Chemical

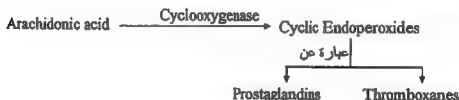
Messengers : من الضروري أن تكون الخلايا قادرة على الاتصال Communication فيما بينها لأن هذا الاتصال لازم للأعمال الإنعكاسية والإستجابات الموضعية لذلك فالإتصال يبين الخلايا هام جدا بالنسبة للإتزان الداخلي Homeostasis. والاتصال بين الخلايا Intercellular Communication يحدث بواسطة مواد كيميائية عضوية تسمى الرسائل الكيميائية Chemical messengers ومنها الهرمونات. والهرمون يفرز من خلية في مجرى الدم ليوصل لخلية هدف Target cell أخرى ليؤثر عليها وهذا نوع من أنواع إتصال الخلايا. وهناك نوع آخر من الرسائل

الكيميائية يسمى الناقل العصبي **Neurotransmitter** ويسمى أيضاً **Neurohumor** فأغلب الخلايا العصبية تتصل مع بعضها أو مع الخلايا المستجيبة عن طريق هذه الناقلات العصبية. والناقل العصبي عبارة عن مادة كيميائية عضوية تفرز من خلايا عصبية ويحدث لها تدمير **Inactivation** في نهايات هذه الألياف العصبية لتؤدي وظيفة معينة إذا سمي به البعض هرمون موضعي **Local hormone**. وبالتالي فالخليفة العصبية تفرز الناقل للعصب من نهايات الألياف لينتقل في المسائل بين الخلايا ليؤثر في الخلية المجاورة لها ومن أمثلة هذه الناقلات العصبية هي الأسيتل كولين والنور إبينفرين (**Norepinephrine (NE)**) وجدير بالذكر أن **NE** المفرز من نخاع الأدرينال يعتبر هرمون عصبى **Neurohormone** وليس ناقل عصبى بينما الـ **NE** المفرز من الألياف العصبية السيمبثالية فيعتبر ناقل عصبى لأنه يدمر في نهايات هذه الألياف ولأن هذه الألياف ليست لها صفات خلايا الـ **NSC** والنوع الثالث من الرسائل الكيميائية هو الهرمونات العصبية **Neurohormones** وهى عبارة عن مواد كيميائية عضوية تفرز من خلايا عصبية حدث بها تحورات سيتولوجية بحيث أصبحت لها القدرة على الإفراز وتسمى هذه الخلايا **Neurosecretory cells (NSC)** وهذه الهرمونات العصبية تفرز من خلايا عصبية وينقلها الدم لتؤثر في خلايا هدف أخرى وسوف نتعرض لأنواع الرسائل الكيميائية الثلاثة السابقة بالتفصيل بلأن الله عند التحدث عن الجهاز العدى. هذا ويجدر الإشارة أن هناك هرمونات مثل هرمونى الإتمولين والجلوكاجون المفرزان من خلايا جزر لانجرهانز بالبنكرياس لهم تأثير موضعي أى أن الهرمون يفرز من خلية ويؤثر في الخلية المجاورة لها ويسمى ذلك بالـ **Paracrine function**. أما في بعض الحالات يفرز الهرمون من خلية وينقل للسوائل خارج خلوية ليؤثر على الخلية نفسها التى تفرزته فيسمى ذلك بالتأثير الذاتى **Autocrine function** وهناك بعض الهرمونات التى تعمل كـ **Paracrine and autocrine functions** في نفس الوقت.

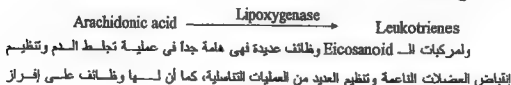
مما سبق يتضح لنا أن كل هذه الرسائل الكيميائية السابقة تفرز لتصل إلى السوائل بين الخلوية ثم بعد ذلك تؤثر على خلية مجاورة أو على الخلية نفسها. بينما هناك نوعين من الإتصال الكيميائى بين الخلايا لا يتطلبان مثل هذه الطريقة في الإفراز وهما: ١- **Gap Junction** وفى هذا النوع من الإتصال تنتقل المواد الكيميائية من خلية إلى خلية أخرى ملاصقة لها دون الدخول فى السوائل بين الخلوية (جزء من السوائل خارج خلوية **ECF**). ٢- والنوع الثانى وهو الـ **Membrane-bound messenger** وفى هذا النوع لا يحدث إفراز للرسول الكيميائى من الخلية المفرزة له ولكن يوجد هذا الرسول مرتبط بالسطح الخارجى لغشاء الخلية وفى ملامسة مع السطح الخارجى لغشاء الخلية المجاورة. وبالتالي تتصل الخلية التى بها الرسول مع الخلية الهدف بواسطة هذا الرسول

المرتبط بالغشاء الخلوى ومن هنا جاءت التسمية Membrane-bound messenger وهذا الإصـال يعتبر هام جداً بالنسبة للخلايا التى تحمى الجسم من الميكروبات والخلايا الغريبة الأخرى.

رسائل الـ **Eicosanoids** : هى عدد من المواد الناتجة من الحمض الدهنى **Arachidonic acid** وهو حمض دهنى غير مشبع **Polyunsaturated fatty acid**. وحمض الـ **Arachidonic acid** يوجد فى التوسوليبيدات المكونة للغشاء الخلوى. ويجدر الإشارة أن هذه الـ **Eicosanoids** هى عبارة عن عديد من الرسائل الكيميائية وكل قسم رئيسى منها به أكثر من مركب وهى لا تخزن بل تتركز مباشرة لتعمل موضعياً ولذا فهى تتبع قسم الـ **Paracrine and autocrine agents** وهى بعد أن تودى وظيفتها تهدم إلى صور غير نشطة **Inactive form** عن طريق الإنزيمات الموضعية. وطريقة تكوين هذه الـ **Eicosanoids** كما يلى : ١- أولاً يتم تنبيه غشاء الخلية **Plasma membrane** بتنبيه مناسب (عن طريق أى نوع من الرسائل الكيميائية التى تحدثنا عنها وإيكن هرمون مثلاً). ٢- يودى هذا التنبيه إلى تنشيط إنزيم موجود بغشاء الخلية يسمى **Phospholipase Az** هذا الإنزيم يقوم بصل الحمض الدهنى **Arachidonic acid** من التوسوليبيد الموجود بغشاء الخلية. ٣- يدخل بعد ذلك حمض الـ **Arachidonic acid** فى عدة خطوات ميتابوليزمية تقوم بها عدة إنزيمات متخصصة لإنتاج الـ **Eicosanoid**. وهناك اتجاهين رئيسيين لميتابولزم حمض الـ **Arachidonic acid** تبعاً للنشاط الإنزيمى فهناك اتجاه يتم تنشيطه بواسطة إنزيم **Cyclooxygenase** كما هو موضح بالمعادلة التالية :



ويتضح من المعادلة السابقة أن الفرع الذى يتم تحفيزه بإنزيم **Cyclooxygenase** ينتج فى النهاية مجموعة مركبات الـ **Prostaglandins**. مجموعة مركبات الـ **Thromboxanes** أما الاتجاه الثانى فتم تنشيطه بواسطة إنزيم **Lipoxygenase** لينتج مجموعة مركبات **Leukotrienes** كما هو موضح بالمعادلة :



الهرمونات وتنظيم عمل وإفراز الناقلات العصبية، وهي أيضا التي تسبب حدوث الأكم والحصى والإنتهاب (الإستجابة للموضعية للأذى والعوى). هذا وهناك بعض العقاقير التي تثبط تكوين بعض من الـ Eicosanoid عن طريق تثبيطها للإنزيمات المسببة لتخليقها ومن أمثلة ذلك الأسبرين فهو يثبط نشاط إنزيم Cyclooxygenase وبالتالي فهو يوقف تخليق البروستاجلاندينات Prostaglandins والـ Thromboxanes. ولهذا لا ينصح بتعاطي الأسبرين كمسكن للألم بكمية كبيرة ولكن ينصح بتعاطيه لتخفيف الألم فقط كما سيأتى ذكره بالتفصيل بإذن الله عند التحدث عن الجهاز المناعى Immune system.

المستقبلات Receptors : تحدثنا عن أنواع الرسائل الكيميائية ووصولها للخلاية السهدف لتؤدى فيها وظائف بيولوجية معينة ولكن كيف يمكن لهذه الرسائل الكيميائية أن تؤدى هذه الوظائف على مستوى الخلية ؟ والإجابة أن هذه الرسائل ترتبط مع مستقبل بروتينى متخصص لها موجود فى الخلية الهدف، ويسمى فى هذه الحالة الرسول الكيميائى بالمربوط Ligand والمستقبل بموقع الارتباط Binding site. لاحظ أن المستقبل عبارة عن جزيئات بروتينية أو جليكوبروتينات موجودة فى معظم الأحوال على غشاء الخلية وفى أحيان قليلة فى سيتوبلازم الخلية وذلك بإستثناء الهرمونات الإسترويدية (هرمونات ذائبة فى الدهن) وهرمونات الغدة الدرقية (هرمونات مشتقات الأحماض الأمينية) وهذه تعبر غشاء وسيتوبلازم الخلية لتصل إلى DNA النواه وفى حالة الهرمونات الإسترويدية ترتبط بـ Cytosol receptor فى السيتوبلازم لينقلها إلى نواة الخلية لتنشط DNA النواه أما فى حالة هرمونات الدرقية فهى تصل للنواه مباشرة لتنشط الـ DNA بها. وعملية ارتباط الهرمون (رسول كيميائى) بالمستقبل هى المنشئة لكل خطوات التفاعل (الإستجابة البيولوجية) فيما بعد. ولذلك فمن أهم خصائص المستقبلات : ١- التخصص Specificity فكل رسول كيميائى مستقبل خاص به لا يرتبط إلا عليه وبالتالي فيمكن لهرمون ACTH (الهرمون المنبه لقشرة الغدة الجاركلوية) كرسول كيميائى أن يمر على كل الخلايا لكنه يرتبط على أغشية خلايا قشرة الغدة الجاركلوية وهكذا فهرمون TSH (الهرمون المنبه للغدة الدرقية) يرتبط على أغشية خلايا الغدة الدرقية لكنه لا يرتبط على أغشية خلايا المبيض أو الخصية مثلا. ويمكن تشبيه ذلك بالضبط مثل المفتاح والـ الكالون قلو أن هناك عصارة من مادة شقة ولكل شقة مفتاح متخصص لها يفتحها لكنه لا يفتح باقى الشقوق حيث صمم مطابقته لها. ولذلك فهناك مجاميع كيميائية فعالة فى الهرمون (الرسول الكيميائى) ترتبط بمجاميع كيميائية متخصصة لها على المستقبل ليتكون معقد الهرمون مع المستقبل Hormone receptor complex. هذا وقد تحتوى أنواع مختلفة من الخلايا فى أعضاء مختلفة على نفس المستقبل مثل

خلايا الخصية وخلايا المبيض فكلهما يحترق على مستقبلات الهرموني LH & FSH لكن ارتباط أى من الهرمونين يؤدي وظيفة مختلفة بالطبع في الخصية عنه في المبيض. هذا وقد يحتوى غشاء خلية واحدة على عدة مستقبلات مختلفة الشكل لكنها كلها متخصصة لنفس الهرمون، وكلا من هذه المستقبلات يؤدي وظيفة مختلفة. فمثلا مستقبلات α ومستقبلات β الموجودة على أغشية جدر الأوعية الدموية فكلهما يتأثر بهرمون الإبينفرين Epinephrine لكن أحدهما تسبب انقباض الأوعية الدموية والأخرى تسبب اتساع الأوعية الدموية. ٢- التطبيع Saturation لا يرتبط الهرمون مع كل مستقبلاته على غشاء الخلية لكن يحدث التشبع عند ارتباط الهرمون بحوالي ٢-٣% من مستقبلاته فقط أما الـ ٩٧-٩٨% مستقبلات فهي تظل غير مرتبطة بالهرمون وتسمى Spare receptors ولذلك الهرمون المستسترون يحقق أقصى وظيفة بيولوجية عند ارتباطه بـ ٣% فقط من مستقبلاته. ولذلك كلما زاد تركيز الهرمون في بلازما الدم كلما ازداد أثره البيولوجي إلى حد معين بعده الزيادة من الهرمون غير مؤثرة. وتميز Spare receptors لا يعنى أنها مستقبلات احتياطية لكنها تعنى أنها غير مشغولة بالهرمون. ٣- التنافس Competition في بعض الأحيان تكون الرسائل الكيميائية متشابهة في التركيب الكيميائي إلى حد كبير لذا فهي تتنافس على الارتباط بنفس المستقبل. فالمضادات Antagonists تقوم باحتلال المستقبلات الخاصة بهرمون مشابه وبالتالي تمنع الهرمون نفسه من الارتباط بمستقبله مما يؤدي إلى منع الإستجابة الخلوية للهرمون نفسه. وهناك أيضا عقاقير تسمى بالمضارعات في الوظيفة أو بالمؤذيات Agonists وهي ترتبط مع مستقبل الهرمون معين وتؤدي إلى إستجابة خلوية مماثلة للإستجابة الخلوية التي يفتها للهرمون الأصلي.

تنظيم عدد المستقبلات Regulation Of Receptor Number : المستقبلات

في صومها تخضع للتنظيم التسيولوجي حيث يمكن تغيير عدد المستقبلات بالزيادة أو النقصان كما يحدث تنظيم أيضا بالنسبة لآلة هذه المستقبلات بالنسبة للهرمون المتخصص لها. ولذلك فهناك ظاهرتين هما: ١- ظاهرة التنظيم لأسفل Down regulation وفيها يحدث تناقص لعدد المستقبلات الكلية (ولذا سميت بالتنظيم لأسفل) وتحدث هذه الظاهرة كنتيجة لزيادة تركيز الهرمون (الرسول الكيميائي) في السوائل خارج الخلايا لفترة من الوقت. ويؤدي نقص المستقبلات هذا إلى انخفاض إستجابة الخلايا للهدف للتنبية بالهرمون. ولذلك فيعتبر التنظيم لأسفل آلية تنظيم رجعي مبالغ تعمل على تخليق الزيادة من تركيز الهرمون ومثالا لذلك ارتفاع مستوى هرمون الإنسولين لفترات طويلة يسبب نقص في مقدرة هرمون الإنسولين على إدخال الجلوكوز داخل الخلايا على الرغم من أن هذا الهرمون هو الذي يسهل دخول الجلوكوز إلى الخلايا.

وعلى العكس من ذلك تحدث ظاهرة أخرى وهي ظاهرة التنظيم لأعلى Up-regulation وتحدث هذه الظاهرة كنتيجة لتعرض الخلايا لفترة طويلة إلى تركيزات منخفضة جداً عن المستوى الطبيعي من هرمون معين وبالتالي يزداد عدد مستقبلات هذا الهرمون (الرسول الكيميائي) وبالتالي تزداد حساسية هذه الخلايا للكيمات الضئيلة من الهرمون. وقد استدل على هذه الظاهرة عندما تم قطع الإمداد المصبي عن عضلة (النقل المصبي الأسيتل كولين هو الذى يسبب إنقباض العضلة) ووجد أن هذه العضلة المعزولة عن الإمداد المصبي تستجيب وتنقبض عند الحقن بكمية ضئيلة جداً (أقل من المستوى الطبيعي بكثير) من الناقل المصبي الأسيتل كولين.

آليات نقل الإشارة بمستقبلات غشاء الخلية Signal Transduction

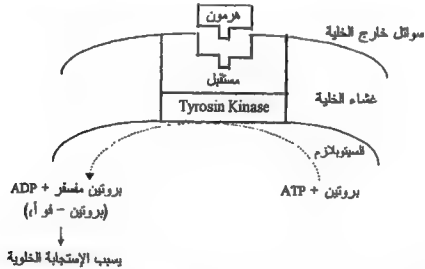
Mechanisms For Plasma Membrane Receptors : الهرمون أو الرسول

الكيميائي الذى يذهب عن طريق السوائل خارج خلوية ويرتبط بغشاء الخلية يسمى رسول أول First messenger. وارتباط هذا الـ 1st messenger مع المستقبل يؤدي إلى تغير فى بنية المستقبل Receptor conformation ويسمى الهرمون والمستقبل فى هذه الحالة بالـ Hormone receptor complex وهذه الخطوة تعتبر أول خطوه فى النشاط البيولوجى للهرمون حيث تعمل على تنشيط المستقبل الأمر الذى يؤدي إلى سلسلة من التفاعلات تؤدي إلى استجابة الخلية البيولوجية النهائية للهرمون أو للرسول الكيميائي. واستجابة الخلية النهائية قد تكون تغيرات فى نفاذية غشاء الخلية لجزيئات معينة (بعض الهرمونات تسبب زيادة نفاذية الخلايا لأيونات معينة) أو فى حالة غشاء الخلية للكهربية أو فى خصائص النقل لغشاء الخلية. أو قد تكون تغيرات فى عمليات البناء والهدم داخل الخلية. أو تغيرات فى النشاط الإنزيمى للخلية أو إنقباض الخلية فى حالة الخلايا العضلية. وسلسلة التفاعلات المتتالية التى تبدأ بتنشيط الهرمون (أو الرسول الكيميائي) للمستقبل حتى تنتهى بالاستجابة البيولوجية النهائية تسمى بآليات نقل الإشارة Signal transduction mechanisms والمقصود بالإشارة Signal هنا تنشيط المستقبل لما نقل الإشارة Transduction فيقصد به سلسلة التفاعلات التى بواسطتها يتحول المنبه إلى استجابة. وتختلف آليات نقل الإشارة تبعاً للتركيب الكيميائي للهرمون (الرسول الكيميائي). فآليات نقل الإشارة للهرمونات البروتينية تختلف عنها للهرمونات الإسترويدية (الهرمونات الإسترويدية تذوب فى الدهن).

فالهرمونات البروتينية ترتبط بمستقبلات بروتينية موجودة على غشاء الخلية بينما الهرمونات الإسترويدية ترتبط بمستقبلات فى السيتوبلازم تنقلها إلى نواة الخلية لتنشط عملية نسخ الجين Gene transcription. وعلى ذلك فهناك هرمونات غير ذائبة فى الدهن لها مستقبلات على غشاء الخلية وتبدأ

عملها بالإرتباط بهذه المستقبلات وهي التي سوف يقتصر حديثنا عنها بلأن الله حيث أن عددها كثير كما أنها تعطى فكرة عن طريقة عمل الهرمونات مع المستقبل. أما للهرمونات الذائبة فى الدهن فسوف نتحدث عنها بمشقة الله فى الباب الخاص بجهاز الغدد الصماء.

وتنقسم مستقبلات الهرمونات البيئية تبعاً لآلية نقل الإشارة Transduction mechanisms إلى الآتى : ١- مستقبلات تقوم بوظيفتها بنفسها حيث تعمل كقناة أيونية. وفى هذه الحالة يسبب تنشيط الهرمون للمستقبل فتح القناة الأيونية وبالتالي زيادة انتشار الأيون أو الأيونات الخاصة بهذه القناة. وانتشار هذه الأيونات يكون مرتبطاً بإشارة كهربائية فى الغشاء الخولى وهذه الإشارة ضرورية فى الإستجابة للهرمون ٢- يمكن أن يلعب المستقبل دوراً ثانياً بحيث يعمل كمستقبل وإيزيم فى نفس الوقت. فمن الممكن أن يكون جزء من معقد البروتين المكون للمستقبل يقوم بوظيفة الـ Protein Kinase (تعبير بروتين كيناز Protein Kinase يستخدم للإشارة عن أى إيزيم يقوم بفسفرة بروتينات أخرى عن طريقة نقله لمجموعة فوسفات من حامل للطاقة ATP إلى هذا البروتين). والذى غالباً ما يكون إيزيم، وهذه الفسفرة تؤدي إلى تغير فى نشاط هذا البروتين شكل (١-٥) هذا البروتين المنسفر الجديد هو الذى يقوم بالوظائف البيولوجية للهرمون (المنبه أو الرسول الأول messenger^{1st}). هذا وتوجد أنواع عديدة من إيزيمات Protein Kinases التى تدخل فى آليات نقل الإشارة وكل واحد منها



شكل (١-٥) : آلية إستقبال الإشارة والتي فيها يقوم معقد بروتين المستقبل نفسه بوظيفة الـ Protein Kinase وليس هذه الحالة هو الـ Tyrosin Kinase والذى يقوم بفسفرة بروتينات الخلية حيث تشترك هذه البروتينات فى عملية الإستجابة الخولية المنبه.

له القدرة على فسفرة بروتينات معينة فقط -٣- أما النوع الثالث من مستقبلات غشاء الخلية فوضم مستقبلات مختلفة يقدر عددها بحوالى مائة مستقبل وهذه المستقبلات تتدخل مع بعضها عند تنشيطها بأحد بروتينات G، والـ G-proteins عبارة عن كل البروتينات التى ترتبط بشدة وبالفه عالية بنوكليوتيدات الجوانين Guanine nucleotides. والآلية هنا أن المستقبل النشط يقوم بتنشيط بروتين G ثم يتدخل بروتين G النشط مع بروتينات موجودة أيضاً بغشاء الخلية والتي تسمى البروتينات المستجيبة Effector proteins وهذه إما أن تكون قنوات أيونية أو إنزيمات. وبالتالي فهذه البروتينات المستجيبة هى التى تنشط سلسلة التفاعلات المتتابعة المعصية لإستجابة الخلية -٤- والنوع الرابع من مستقبلات غشاء الخلية هو نوع يعتبر الأكثر شيوعاً والذي فيه يتم تنشيط إنزيم الأدينيليل سيكليز Adenylyl cyclase والذي يسبب تحويل الـ ATP إلى الأدينوسين أحادى الفوسفات الحلقى Cyclic 3'-5'-adenosine monophosphat (cyclic AMP) وآلية العمل هنا أن الهرمون البروتينى عندما يرتبط بمستقبله الخاص على غشاء الخلية فإن ذلك المستقبل النشط ينشط بروتين G (كما فى النوع الثالث من المستقبلات) ثم يقوم G protein النشط بتنشيط البروتين المستجيب والمرتبطة بغشاء الخلية وهو إنزيم Adenylyl cyclase ثم يقوم إنزيم الأدينيلوسيل سيكليز بتحويل ATP إلى Cyclic AMP كما فى المعادلة التالية :



Cyclic AMP الناتجة (عن طريق سلسلة من التفاعلات) هى التى تقوم بالوظائف البيولوجية (الإستجابة النهائية) للهرمون. هذا ويجدر الإشارة أن إنزيم Phosphodiesterase يقوم بتكسير Cyclic AMP إلى Noncyclic AMP وهى غير نشطة وبالتالي ينتهى فعل Cyclic AMP بهذا التفسير. -٥- النوع الخامس من المستقبلات هو مشابه لنظام الأدينيليل سيكليز و Cyclic AMP إلا أن البروتين المستجيب والمرتبطة بغشاء الخلية هو إنزيم الجوانيل سيكليز Guanylyl cyclase وهذا الإنزيم ينشط تخليق نيكليوتيد حلقى بالمسيتولازم يسمى Cyclic 3',5'-guanosine monophosphate (Cyclic GMP) كما فى المعادلة التالية :



ولكن هذا النظام غير شائع ولا يرتبط مع مستقبلات عديدة مختلفة مثل نظام Cyclic AMP. لكن يجدر الإشارة إلى أن تكوين Cyclic GMP يثبط تكوين Cyclic AMP.

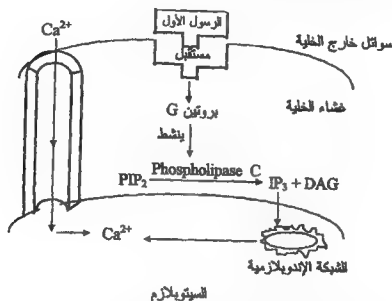
الإنوسيتول ثلاثي الفوسفات والدائ أسيل جليسرول والفوسفوليبيز سى Inositol

C Triphosphate, Diacylglycerol and Phospholipase : فى هذه الآلية يتم الآتى : -أ- بعد تنشيط للمستقبل بالرسول الأول 1^{st} messenger (ينشط بروتين G كما فى النوع الثالث من المستقبلات) -ب- يقوم بروتين G بتنبيه إنزيم مستجيب موجود بغشاء الخلية هو الـ Phospholipase -ج- عندما ينشط هذا الإنزيم يسبب تنشيط تكسير الـ Phosphatidylinositol (PIP_2) وهو فوسفوليبيد موجود بغشاء الخلية. -د- نواتج تكسير الـ PIP_2 هى الإنوسيتول ثلاثي الفوسفات والدائ أسيل جليسرول (IP_3) and $diacylglycerol (DAG)$. -هـ- بالرغم من أن كلا من DAG و IP_3 يعتبر رسول ثانى 2^{nd} messenger إلا أن كلا منهما يؤدي وظائف مختلفة عن الآخر. -و- يقوم DAG بتنشيط نوع خاص من البروتين كيناز هو Protein kinase C والذي يقوم بفسفرة عدد كبير من بروتينات أخرى حيث تؤدي الأخيرة إلى الإستجابة الخلوية -ز- أما الـ IP_3 فيعد وصوله للميتوبلازم يقوم بالعمل على الغشاء الخارجى للشبكة الإندوبلازمية حيث يسبب تسرب الكالسيوم منها (من المصروف أن تركيز الكالسيوم فى الشبكة الإندوبلازمية يكون فى العادة أعلا من تركيزه فى الميتوبلازم) ولذلك ينتشر الكالسيوم من الشبكة الإندوبلازمية إلى الميتوبلازم ويؤدي ذلك إلى زيادة كبيرة فى تركيز الكالسيوم فى الميتوبلازم وهذه الزيادة فى تركيز الكالسيوم فى الميتوبلازم تؤدي إلى سلسلة من التفاعلات المسببة للإستجابة الخلوية.

الكالسيوم كرسول ثانى Calcium As A Second Messenger : تقوم

العضيات الخلوية Organelles وآليات النقل النشط Active transport الموجودة بالغشاء الخلوى بتنظيم تركيز الكالسيوم فى الميتوبلازم عند مستوى منخفض جدا. وبناءً على ذلك يكون هناك فرق كهروكيميائى Electro chemical difference. هذا الفرق يشجع إنتشار الكالسيوم إلى الميتوبلازم عن طريق قنوات الكالسيوم فى كلا من الشبكة الإندوبلازمية وغشاء الخلية. وعند حدوث تنبيه لغشاء الخلية يمكن أن يؤثر على آليات النقل النشط أو للقنوات الأيونية أو الإنكين معاً مما يسبب تغيير تركيز الكالسيوم فى الميتوبلازم. وبالتالي فتشيط الرسول الأول للمستقبل يؤدي إلى زيادة تركيز الكالسيوم عن طريق تنشيط بروتين G والذي يؤدي إلى فتح قناة الكالسيوم بغشاء الخلية أو عن طريق إنزيم Phospholipase حيث يتم إنتاج IP_3 والأخير يسبب فتح قناة الكالسيوم بأغشية الشبكة الإندوبلازمية. أو عن طريق تكوين Cyclic AMP التى تسبب تنشيط النقل النشط للكالسيوم إلى خارج الميتوبلازم شكل (٥-٢). هذا وزيادة تركيز الكالسيوم يمكن أن تتم بطريقة واحدة من هذه

طرق أو بالطريقتين معا أو بالثلاثة طرق معا. هذا وتوجد قنوات كالسيوم بأغشية الخلايا. هذه القنوات تفتح مباشرة عن طريق التنبيه الكهربى لغشاء الخلية وبالتالي فإنه بالإضافة لعمل الكالسيوم كرسول ثانى messenger^{2nd} عن طريق التنبيه الكيمى لمستقبلات غشاء الخلية فإن الكالسيوم يمكنه أيضا أن يعمل كرسول ثانى استجابة للتنبيه الكهربى من خلال قنوات الكالسيوم الحساسة كهربائيا Voltage-sensitive, Calcium channels

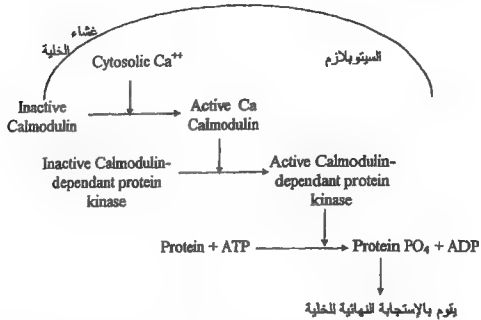


شكل (٢-٥) : الشكل يوضح مثال لكيفية قيام الرسول الأول messenger^{1st} بزيادة الكالسيوم فى المستودع من طريق إستغلال عدة إشارات منها تنشيط بروتين G الذى يسبب تنقل الكالسيوم إلى المستودع من خلال القنوات الأيونية كما يسبب إنتاج IP₃ الذى يسبب أيضا تنقل الكالسيوم من الشبكة الإندوبلازمية إلى المستودع.

أما آلية عمل الكالسيوم كرسول ثانى Second messenger : فتتلخص فى الخطوات التالية:

- ١- بعد إفراز الكالسيوم فى السيتوبلازم كنتيجة لتكثفه من القنوات الأيونية إلى السيتوبلازم ومن الشبكة الإندوبلازمية إلى السيتوبلازم أيضا يزداد تركيز أيون الكالسيوم Ca⁺⁺ فى السيتوبلازم وهذا الكالسيوم له القدرة على الارتباط بشدة وبخاصية مع عدة بروتينات مختلفة فى السيتوبلازم تقوم بربط الكالسيوم وأهم هذه البروتينات وهو متواجد فى كل الخلايا بروتين يسمى Calmodulin -٢- بعد ارتباط الكالسيوم بالكالموديولين Calmodulin يحوله إلى كالموديولين نشط مرتبط بالكالسيوم Active Ca-calmodulin شكل (٣-٥). -٣- ثم يقوم هذا الكالموديولين النشط المرتبط بالكالسيوم بتحويل الـ

Active calmodulin-dependant إلى Inactive calmodulin-dependant protein kinase
 protein kinase حيث يقوم الأخير بفسفرة البروتين ثم يقوم البروتين المفسفر بعمل الإستجابة النهائية
 للخلية شكل (٢-٥).

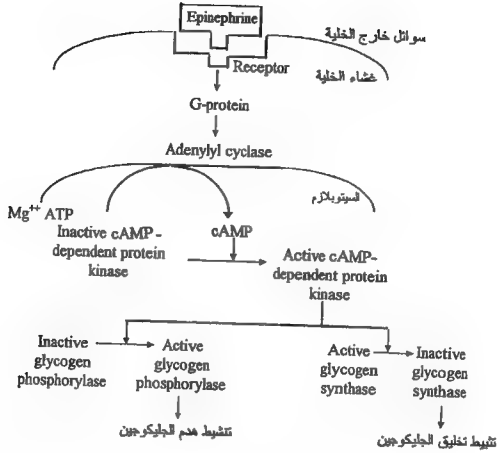


شكل (٢-٥) : الشكل يوضح طريقة عمل الكالسيوم كرسول ثانى Second messenger (لاحظ ان الرسل الأول
 First messenger كانت آليات سابقة لهذه الآليات وموجودة في شكل (٢-٥).

ملاحظات عامة على آليات نقل الإشارة : ١- تحدثنا عن خمسة رسل ثانية Second messengers وكل واحد من هذه الرسل الثانية يتخصص لتنشيط نوع من الأنواع الأربعة من البروتين كيناز Protein kinase : ٢- الرسل الثانية للتالية : DAG, Cyclic GMP and Cyclic AMP : ٣- يقوم بتنشيط الـ Protein kinase بطريق مباشر بينما الـ IP₃ والكالسيوم يقوم بهذا بطريق غير مباشر فالـ IP₃ يعمل هنا عن طريق رفعه لتركيز الكالسيوم. والكالسيوم يقوم بهذا عن طريق تنشيطه للكالمودينولين Calmodulin - ٣- يتم وقت آليات نقل الإشارة عن طريق نقص تركيز الرسل الأول First messenger في سائل خارج الخلية وبالتالي ينفصل الـ First messenger من المستقبل الخاص به على غشاء الخلية. أو قد يدخل First messenger الخلية عن طريق الإلتقام الخلوى وتقوم بهدمه. ومن المعروف أن هناك باستمرار عملية هدم للرسل الأول First

messenger داخل الخلية كما أن هناك ضغ باستمرار للكالسيوم خارج الخلية وإلى الشبكة الإندوبلازمية لذلك ففترة عمل الرسول الثاني Second messenger تكون مؤقتة وتستمر فقط إذا استمر تنشيط الرسول الأول المستقبل. -٤- عملية تنشيط إنزيم Adenyl cyclase بواسطة G protein يحدث سلسلة من التفاعلات كل منها يضاعف قوة الآخر ومن خلال هذه التفاعلات تتحول بروتينات غير نشطة إلى بروتينات نشطة وهذا له فائدة كبيرة فجزئ إنزيم واحد نشط من Adenyl cyclase قد يسبب إنتاج ١٠٠ جزئ من Cyclic AMP ثم يحدث تنشيط مقداره ١٠٠ ضعف في كل خطوة من الخطوات التالية وبالتالي فيمكن لجزئ الهرمون الأول (الرسول الأول) messenger 1st أن ينتج مليون جزئ من المنتج النهائي. هذه الظاهرة تفسر لنا كيف تكون الهرمونات والرسائل الكيميائية الأخرى مؤثرة وتظهر وظائفها البيولوجية بدرجة كبيرة رغم تركيزاتها المنخفضة بمئات خارج الخلايا. -٥- طبعا علمنا مما سبق أن جزئ Cyclic AMP يحفز تكوين Cyclic AMP dependant protein kinase والأخير يسبب استجابات بيولوجية عديدة داخل وخارج الخلية لكنها أيضا مختلفة عن بعضها بدرجة كبيرة. وسبب الاختلاف الشديد في الاستجابات البيولوجية هو أن الإنزيم للنشط (cAMP dependant protein kinase) يعمل على مواد خام Substrates مختلفة وعديدة، أى يمكنه فسفرة عدد كبير من البروتينات المختلفة ولهذا يكون للإنزيم النشاط الفعال عديدة فى خلية واحدة وأفعال مختلفة فى الخلايا المختلفة. وهناك سبب آخر لاختلاف الاستجابات البيولوجية بالرغم من أن السبب لها إنزيم واحد هو أن هذا الإنزيم (cAMP dependant protein kinase) بجانب تنشيطه لإنزيمات معينة فهو يقوم أيضا بتنشيط إنزيمات أخرى. ومثالا لذلك فعملية الفسفرة تثبط الإنزيم الذى ينشط الخطوة المحددة للتفاعل فى عملية تخليق الجليكوجين.

وهذا يفسر لنا لماذا يسبب هرمون الأبينفرن Epinephrine تثبيط تخليق الجليكوجين فى نفس الوقت الذى ينشط فيه هدم الجليكوجين شكل (٥-٤).



شكل (٤-٥) : الشكل يوضح أن ارتباط هرمون الإبينفرين كرسول أول بالمستقبل ينشط G protein الذي ينشط بدوره إنزيم Adenylyl cyclase الذي ينشط بدوره تكوين cAMP dependant protein kinase النشطة والأخيرة تنشط هدم الجليكوجين وتثبط تخليق الجليكوجين أيضاً.

الباب السادس

إنقسام الخلية

Cell Division

مقدمة Introduction خلايا جسم الإنسان أو الحيوان أو أى كائن عديد الخلايا عموماً ناتجة

أصلاً من إنقسام خلايا سابقة لها.

وإنقسام الخلايا فى الإنسان يستمر من بداية تكوين الزيجوت وحد تمام النمو يبطئ إنقسام خلايا الأنسجة وفى بعضها يتوقف تماماً والخلايا التى يتوقف فيها الإنقسام تكون عادة خلايا عالية التخصص مثل الخلايا العصبية وخلايا العضلات وإنقسام الخلايا هام بالنسبة للنمو وتعميض الخلايا المتلفة فى الأنسجة والأعضاء الأخرى. وينهى جداً أن إنقسام الخلايا هو السبب فى وجود خلايا جديدة وبالتالى فلايد للمادة الوراثية DNA أن تكون لها المقدرة على مضاعفة نفسها. أما بالنسبة للسبب أو العوامل المباشرة التى تنفع الخلية للإنقسام أو التى توقفها عن الإنقسام فهى غير معروفة بالضبط حتى الآن. والبعض يعتقد أن الكتلة التى يمكن أن تصلها خلية ما محدودة فإذا ما زانت عن ذلك فإنها تنقسم، ولكن يؤخذ على هذا الاعتقاد أن هناك خلايا تنقسم وهى صغيرة دون أن تكبر فى الحجم. وهناك اعتقاد آخر وهو أن المادة الوراثية بدخل الخلية هى التى تعطى الأوامر للخلية بالإنقسام فى وقت معين وهى التى تعطى أيضاً الأوامر بإيقاف هذا الإنقسام فى وقت آخر. ويوجه عام فإننا نلاحظ أن هناك خلايا تنقسم باستمرار كما فى بعض خلايا الكائنات الحية الأولية. وكذلك فى بعض أنسجة الإنسان التى تعبر مراكز للنمو. وهناك بعض الخلايا المتخصصة فى الإنسان والحيوان والتى لا تنقسم إذا ما بلغت تمام النمو ومن أمثلتها الخلايا العصبية والخلايا العضلية وخلايا كريات الدم الحمراء. وهناك مجموعة ثلاثة من الخلايا لها القدرة على الإنقسام وتحفظ بهذه القدرة ولا تنقسم إلا تحت ظروف معينة كخلايا كبد الإنسان والبنكرياس. فقد دون العلماء أن خلايا كبد الإنسان والبنكرياس لا تنقسم تحت الظروف العادية لكنها تنقسم فقط إذا حدث جرح أو قطع فإذا فقد جزء من كبد أو بنكرياس الإنسان فإن الجزء الباقى يظل ينقسم حتى يعوض الجزء المفقود بعدها يتوقف عن الإنقسام ومن هنا دون العلماء إمكانية زراعة أجزاء (قطع) من الكبد أو البنكرياس فى الإنسان. ومما تقدم نجد أن الخلية تنقسم وإنقسامها وتوقفها عن الإنقسام شئ يحير العلماء ولأنه سر من أسرار الحياة ويتحكم فيه أكثر من عامل كالتغذية والهرمونات وتخصص الخلايا والمادة الوراثية بداخلها والفيروسات كلها عوامل مؤثرة على إنقسام الخلايا.

ولو تمكن العلماء من معرفة العوامل المسببة لإنتقسام الخلية والعوامل التي توقف هذا الإنتقسام لآدى ذلك إلى تقدم كبير فى معالجة مرض السرطان Cancer الذى تنقسم خلاياه باستمرار دون ضوابط أو هدف أو فائدة للجسم ودون أى سيطرة للجسم عليه كما أنه يتم وينتشر فى الجسم بصورة غير منتظمة. بالإضافة إلى أن هذا الإنتقسام يكون على حساب طاقة الجسم مما يؤدى فى معظم الأحيان إلى وفاة المصاب إذا لم يستصل الورم فى الوقت المناسب.

هذا وتشير بعض الدراسات أن هناك رسائل كيميائية Chemical messengers موجودة فى سيتوبلازم تلعب دوراً هاماً ورئيسياً فى تغيير دورة الخلية Cell cycle فقد وجد بالتجربة أنه عند وضع أنوية خلايا لا تنقسم فى سيتوبلازم خلايا نشطة بالنسبة للإنتقسام. وجد أن هذه الأنوية تنشط بسرعة وتبدأ فى الإنتقسام.

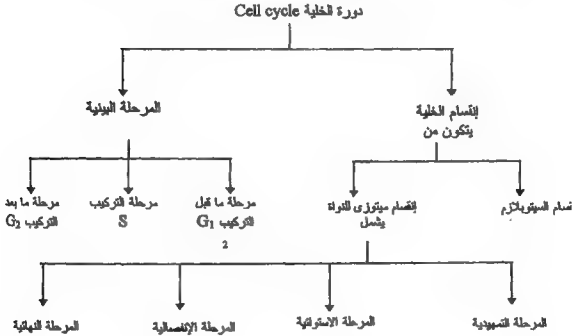
هذا بالنسبة للسيتوبلازم ودرجة تحكمه فى اللواة. أما بالنسبة للعوامل التى تتحكم فى السيتوبلازم نفسه فقد أثبتت التجارب أن مؤثرات خارجية مثل التلامس Contact مع خلايا أخرى مجاورة يمكن أن تتحكم فيما يحدث فى السيتوبلازم من ناحية تنشيطه لعملية الإنتقسام. فى تجربة طلى خلايا طبيعية تم إتمامها فى المعمل فى أطباق بترى وتركزت هذه الخلايا تنقسم حتى إنتشرت تماماً فى الطبق الزجاجى وعندما لامست حافة الطبق توقفت الخلايا عن الإنتقسام حتى مع توفر المادة الغذائية بكميات كافية. من هذه التجربة دون العلماء أن تلامس الخلايا مع بعضها هو أحد العوامل التى توقف إقسامها وتنظيم النمو وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة التثبيط التلامسى Contact Inhibition أو التثبيط بالتلامس . والتثبيط بالتلامس يحدث أيضاً فى أنسجة الجسم، ويعتقد البعض أن أحد أهم أسباب مرض السرطان هو فقد الخلايا أو غياب ظاهرة التثبيط بالتلامس لأنه وجد من تجارب حضنت فيها خلايا سرطانية فى أطباق بترى ووجد أن هذه الخلايا إقتسمت بطريقة شرسة وإستهلكت مواد غذائية بكميات كبيرة كما أنها لم تتوقف عن الإنتقسام عند وصولها إلى حافة طبق بترى كما سبق ذكره ولكنها ظلت تنقسم وتركمت فوق بعضها وإستهلكت بسرعة المادة الغذائية فى أطباق التحضين. وهذا ما يحدث بالجسم تماماً فالخلايا السرطانية تنمو بسرعة مستهلكة طاقة الجسم وممببه ما يعرف بالأورام Tumors. وتؤدى هذه الأورام فى بعض الأحيان إلى تدمير أعضاء حيوية بالجسم. وهناك نوعين من إقسام الخلية هما الإنتقسام الغير مباشر والإنتقسام الإختزالى (المباشر).

الإنتقسام الغير مباشر Mitotic Division

دورة الخلية The Cell Cycle دورة الخلية تنقسم إلى مرحلتين هما : إقسام الخلية Cell division والمرحلة البينية Interphase وتؤثر الهرمونات على دورة الخلية فمثلاً فى كل دورة طمث Menstrual cycle فى النساء أو شجاع فى الحيوانات الثديية يزداد إفراز هرمون الإستروجين

Estrogen من المبيض هذا الهرمون يقوم بتنشيط نمو أنسجة الثدي وبطانة الرحم Endometrium ويجهزهم للحمل المتوقع. وأيضا هناك عوامل أخرى هرمونية عديدة تعمل على تثبيط النمو (إنقسام خلايا الجسم) وتسمى Growth-inhibiting factors وكلا من العوامل المثبطة والمنشطة للنمو لها دور هام في تنظيم دورة الخلية. ومثالا لذلك تنتج خلايا الجلد عامل مثبط للنمو Growth inhibiting factor هذا العامل يمنع إنقسام خلايا الجلد لكن عند حدوث جرح أو قطع أو حرق في الجلد فهذا يسبب نقص في العامل المثبط للنمو وزيادة في العامل المنشط للنمو Epidermal growth factor (EGF) في مكان الإصابة وذلك تبدأ خلايا الجلد في مكان الإصابة في الإنقسام حيث تحررت من التثبيط وبالتالي يتم إصلاح المنطقة المصابة. ثم يعود معدل إنقسام الخلايا إلى المعدلات الطبيعية بعد تمام إصلاح النسيج. ويلاحظ أنه في الفترة الأخيرة اكتشفت البحوث عدة عوامل مثبطة ومنشطة للنمو لكن مازال الكثير مجهول منها حتى الآن لكن مازالت جهود العلماء تبذل في هذا المجال حتى يتمكنوا من إكتشاف علاج لمرض السرطان.

أثناء مرحلة إنقسام الخلية Cell division تنقسم النواة والسيتوبلازم إلى نصفين متساويين تقريبا لتكوين خليتين جديتين يشبهان الخلية الأصلية أما المرحلة البيئية فهي المرحلة بين إنقسامين.

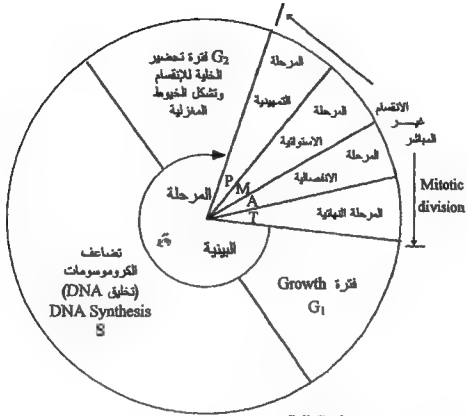


وتستغرق الخلية حوالي 6-8 ساعات حتى تنقسم إنقساماً غير مباشراً (إنقسام ميتوزى Mitotic division) وقد دون فريق آخر من العلماء انه يتراوح ما بين ربع وأربع ساعات ويختلف هذا الوقت عادة حسب نوع الخلية ونشاطها ودرجة الحرارة والغذاء الخ.

١- **المرحلة البينية Interphase** : وتقع هذه المرحلة بين كل إنقسامين متعاقبين وفى هذه المرحلة تهى الخلية نفسها للإنقسام. وتكون الخلية فى هذه المرحلة فى حالة سكون بالنسبة للإنقسام الخلوى لكنها تكون فى حالة نشاط حوى فيولوجى مستمر حيث يحدث فى هذه المرحلة مضاعفة المادة الوراثية DNA وهو هام جداً بالنسبة لتهيئة الخلية للإنقسام وتنقسم هذه المرحلة إلى :
أ- فترة التركيب **S-phase or Synthesis** : وفيها تحدث مضاعفة للحمض النووى (المادة الوراثية) DNA dolication.

ب- فترة الفجوة **G-phase or Gap** : وهذه الفترة تشمل فى دلخلها فترتين وهما : ١- فترة ما بعد التركيب (G_1) وتقع هذه الفترة ما بين فترة التركيب وقبل بداية الإنقسام غير المباشر وأنها تنهى الخلايا للإنقسام (شكل ١-٦). كما يتم فيها تشكيل الخيوط المغزلية وتكوين بعض التركيب التى لها أهمية فى إنقسام الخلية. ٢- فترة ما قبل التركيب (G_2) وتقع هذه الفترة بعد الإنقسام الميتوزى (الغير مباشر) وقبل فترة التركيب، وتعتبر فترة نمو حيث تكون الخلايا الناتجة من الإنقسام صغيرة الحجم فلابد لها إذا أن تنمو حتى تأخذ الشكل والحجم المميز لها فى النسيج الأصلى الذى تنتمى إليه. وبالإضافة إلى ذلك فيعتقد بعض العلماء أن عدداً من المواد الكيميائية تتكون فى هذه الفترة وهذه المواد هى التى تنشط أو تمنع فترة التركيب، ولهذا ففى هذه الفترة يتحدد ما إذا كانت الخلية سوف تنقسم أم لا. هذا ولو قدر للعلماء أن يعرفوا طبيعة المواد الكيميائية التى تتكون فى هذه الفترة لكان لذلك أهمية كبيرة فى بدء السيطرة على مرض السرطان الذى تنقسم فيه الخلايا بغير إنتظام ودون ضوابط.

٢- **المرحلة التمهيدية Prophase** تستغرق هذه المرحلة حوالي ٦٠% من الزمن اللازم لإنقسام الخلية وبذا فهى أطول مراحل إنقسام الخلية. فى بداية هذه المرحلة تتميز الشبكة الكروماتينية إلى خيوط رفيعة تسمى الكروموسومات Chromosomes (عدد هذه الكروموسومات ثابت فى النوع الواحد فهو ٤٦ فرداً و٢٣ زوج فى الإنسان). ويبدو كل كروموسوم مكوناً من خطين رقيقين متشابهين تماماً ومتصقين طولياً بنقطة تسمى سنتروميير Centromere وكل خيط يسمى Chromatid كما ينقسم الجسم المركزى (السنتريل) إلى قسمين (إذا لم يوجد إثنان فى الأصل)

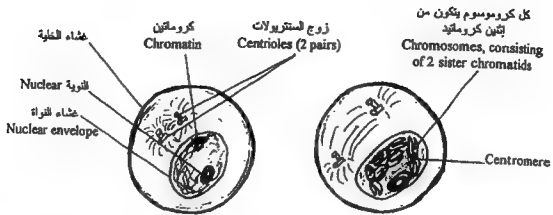


شكل (١-٦) : دورة الخلية Cell Cycle

ويُواصل الجسمان المركزيان ويتعادان عن بعضهما البعض وضمان متقابلين في قطبي الخلية، حيث يستقطب كلا منهما جزءاً حوله من السيتوبلازم كما تبدأ الخيوط المغزلية بالتشكل والظهور وتبدأ للنوية Nuclei في الإختفاء وتُفقد الكروموسومات ويختفى الغشاء النووي وتكون هذه علامة إنتهاء المرحلة التمهيدية (شكل ٦-٢)

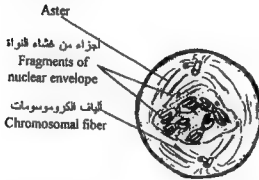
٣- المرحلة الإستوائية Metaphase في هذه المرحلة تبدو الكروموسومات قصيرة وغلظية وغير منظمة لكنها تتحرك مباشرة حركة موضعية بما يسمح للخيوط المغزلية أن ترتب نفسها وسط الخلية حيث تبدو في النهاية مرتبة ومسطحة جانباً إلى جانب وسط الخلية (شكل ٦-٣) وهي عادة مرتبطة بالخيوط المغزلية بواسطة السنتروميترات التي يمكن عن طريقها معرفة عدد الكروموسومات (N) من الصعب الحد عن طريق الخيوط لكن يمكن عد السنتروميترات (شكل ٦-٣).

٤- المرحلة الانفصالية Anaphase : وفي هذه المرحلة تنقسم السنتروميترات وتبدأ الكروماتيدات (الكروموسومات فيما بعد) بالانفصال ببطء عن بعضها وتكون مشدودة بالخيوط المغزلية إلى

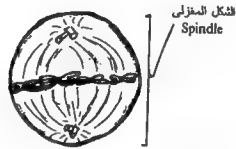


المرحلة البينية
(a) Interphase

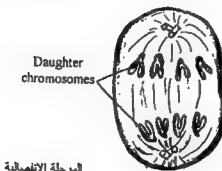
بداية المرحلة التمهيديّة
(b) Early Prophase



نهاية المرحلة التمهيديّة
(c) Late Prophase



المرحلة الإستوائية
(d) Metaphase



المرحلة الانفصالية
(e) Anaphase



المرحلة الانفصالية
وانقسام السيتوبلازم
(f) Telophase and cytokinesis

شكل (٦-٢) : مراحل الانقسام الغير ميوزي Stages of mitotic division

قطبي الخلية. هذا وتجذب السنتروميرات أولاً ثم تتبعها أزرع الكروموسومات وبهذا يتشكل (يتكون) مجموعتان متشابهتان من الكروموسومات الجديدة عند قطبي الخلية (شكل ٦-٧) ففي الإنسان يكون هناك ٤٦ فرد من الكروموسومات في كل قطب من أقطاب الخلية.

٥- المرحلة النهائية **Telophase** : في هذه المرحلة تبدأ الخيوط المغزلية بالاختفاء، ويحدث إختناق في السيتوبلازم. ويتكون سنتريول جديد في كل قطب، ثم يبدأ ظهور الغشاء النووي والنوية كما تبدو الكروموسومات كأل وضوحاً مما كانت عليه سابقاً ولذا فهذه المرحلة تعتبر معاكسة (عكس) لما يحدث في المرحلة التمهيديّة، بعد ذلك يزداد إختناق السيتوبلازم ويمتد لوسط الخلية ويزداد عمقاً حتى يتم إنفصاله إلى قسمين يحيط كلّ منهما بأحد نصفي النواة (إنقسام سيتوبلازمي). وهكذا تنتج خليتان جديدتان في كلّ منهما عدد متساوٍ من الكروموسومات (العدد الثنائي -Diploid number- $2n$) والمضامين الخلوية الأخرى (شكل ٦-٧).

والإنقسام الغير مباشر (الميتوزي) يحدث في الخلايا الجسدية Somatic cells للكائنات الحية عديدة الخلايا ولأيضا في الكائنات وحيدة الخلايا على السواء لكن يختلف الهدف في كلّ منهما، ففي الكائنات الوحيدة الخلية يكون الهدف منه للتكاثر أو زيادة العدد، فالأميبيا أو البرامسيوم مثلاً تنقسم إنقساماً غير مباشراً لتكون فردين جديدين، ويطلق على هذا الإنقسام الإشتطار الثنائي Binary fission. أما إذا حدث في الكائنات العديدة الخلايا (الإنسان مثلاً) فإن الغرض منه هو النمو أو إصلاح أنسجة الجسم التي أصابها تلف أو تجديد الجلد أو تجديد الطبقات المسطحة المتقرّنه أو ما شابه ذلك.

والإنقسام غير المباشر هو الطريقة التي بواسطتها تنمو الكائنات الحية متعددة الخلايا. فعلى سبيل المثال كل واحد منا بدأ ببويضة لقحها حيوان منوي وتكونت خلية أولية مخصبة تسمى للزيجوت Zygote الذي ينقسم إنقساماً غير مباشراً ليكون الجسم التوتّي Morula ثم يتميز إلى ثلاث طبقات هي الأكتوديرم والميزوديرم والأنوديرم ثم يتتابع الإنقسام حتى يصبح إنسان تام النمو معقد التركيب ثم يتوقف هذا الإنقسام في بعض أماكن الجسم ويستمر في أماكن أخرى ففي الإنسان مثلاً تنقسم خلايا الجلد لتجديد الخلايا الميتة باستمرار وكذلك خلايا الأمعاء تتجدد باستمرار نتيجة لموت قسم كبير منها في صلوة البضم والإمتصاص، وكذلك إذا جرح الإنسان فإن الخلايا المجاورة للجرح تنشط وتنقسم (كتنجبة) لتلص العوامل المثبطة للنمو وزيادة العوامل المتشعبة للنمو) حتى تلتق الجرح. وفي الحيوانات التي لها القدرة على تجديد الجزء المقطوع أو التالف فقد تنقسم إنقساماً غير مباشر لهدف للتكاثر، فحودة الأرض إذا ما قطعت إلى جزئين فإن كلّ جزء ينقسم ليكون حيوان جديد.

هذا ويحدث الإنقسام غير المباشر عادة في النبات أيضاً في مناطق النمو كما في القمم النامية في الساق والجذور ، وأيضا عند إكثار النبات عن طريق العقل أو الترقيد.

ومراحل الإنقسام غير المباشر للخلية والتي ذكرناها سابقاً متتبعة ولا يوجد بينها فواصل لكن تسهيلاً للدراسة والمتابعة قسمها العلماء إلى المراحل السابقة. وهنا يجدر الإشارة إلى أن كل المراحل السابقة يمكن إجمالها في إنقسامين فقط هما :

١- الإنقسام النووي *Karyokinesis* وهو إنقسام محتويات النواة وملاحظة سلوك الكروموسومات.

٢- الإنقسام السيتوبلازمي *Cytokinesis* : وهو إنقسام السيتوبلازم.

الباب السابع

أسس وراثية الحيوان والإنسان

Principles Of Animal And Human Heredity

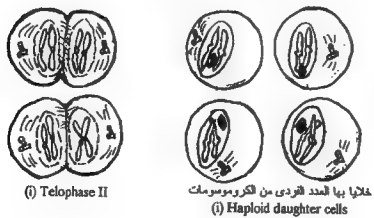
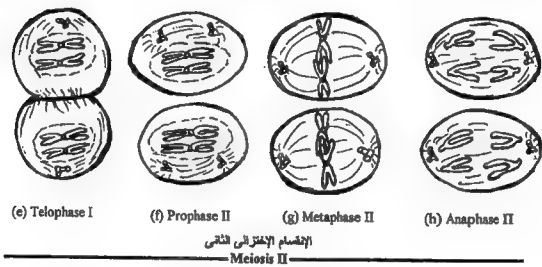
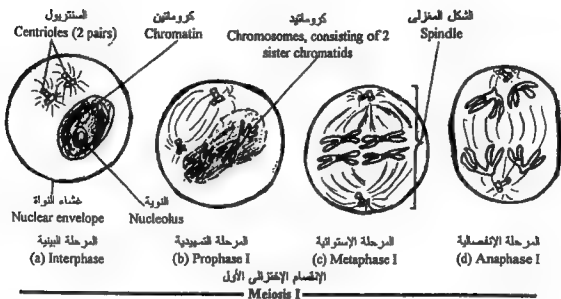
الانقسام الإختزالي وإنتاج الجاميطات

Meiosis Or Reduction Division And Gamet Production

مقدمة Introduction : يحدث الانقسام الإختزالي في الأعضاء أو الخلايا التناسلية للكائن الحي وذلك لتكوين للجاميطات المنكرة والجاميطات المؤنثة لغرض التناسل. ففي الحيوان بما في ذلك الإنسان يحدث هذا الانقسام في الخصية (عملية تكوين الحيوانات المنوية Spermatogenesis) لتكوين الحيوانات المنوية Sperms، وفي الأنثى يحدث في المبايض (عملية تكوين البويضات Oogenesis) لتكوين البويضات Ova.

وتسمية الانقسام الإختزالي تكل على إختصار عدد الكروموسومات إلى النصف وبالتالي يظل عدد الكروموسومات ثابتاً في الأجيال المتعاقبة لكل نوع من أنواع الكائنات الحية. لأنه لو لم يحدث الانقسام الإختزالي عند تكوين الجاميطات لأدى ذلك إلى تضاعف عدد الكروموسومات في النوع الواحد إلى عدد لا نهائي وبالتالي لا يستطيع الفرد الواحد المحافظة على نوعه. ولذلك لابد من إختزال عدد الكروموسومات إلى النصف عند تكوين الجاميطات حتى يعود العدد لأصله عند إلتقاء الجاميطات الذكرية بالجاميطات الأنثوية. ومثالا لذلك في الإنسان هناك نوعان من الخلايا: خلية جسمية Somatic cell تحتوي على ٤٦ كروموسوماً أو ثلاثة وعشرون زوجاً من الكروموسومات ويشار له اصطلاحاً بـ $2n$ Diploid number وخلية تناسلية وتحتوي على ٢٣ فرداً من الكروموسومات أي العدد الفردي أو الأحادي للكروموسومات ويشار له بـ n Haploid number فإذا حدث جماع بين الذكر والأنثى في الإنسان أو الحيوان عموماً وأخصب الحيوان المنوي البويضة تندمج نواتجهما ويتكون للزيجوت وبه العدد الأصلي وهو ٤٦ فرداً من الكروموسومات.

وعلى الرغم من أن خطوات الانقسام الإختزالي أكثر تعقيداً من نظيرتها في الانقسام غير المباشر لكنها من حيث المبدأ مشابهة لها مع بعض الاختلافات البسيطة (شكل ٧-١)، والانقسام الإختزالي عبارة عن إقسامين متتاليين هما : أ- الانقسام الإختزالي الأول : وفيه تختزل عدد



شكل (٧-١) : الانقسام الميوزي Meiosis Division

الكروموسومات ($2n$) إلى النصف (n) وينتج نواتان (خليتان) جديدتان في كل خلية منهما نصف عدد الكروموسومات الأصلية.

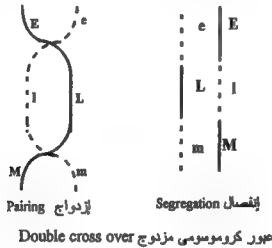
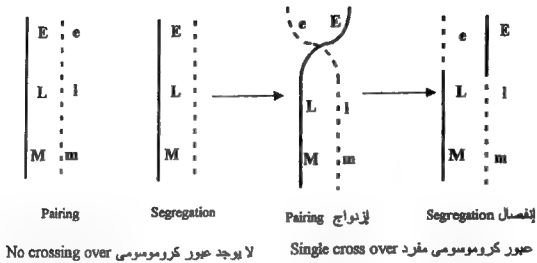
ب- **الإنقسام الإختزالي الثاني** : وهو إنقسام غير مباشر متمم للإنقسام الإختزالي الأول وفيه تنقسم كل خلية من الخليتين السابقتين الناتجتين من الإنقسام الأول إنقساماً غير مباشراً حيث تكون كل خلية خليتين جديدتين وبالتالي يتكون أربع خلايا كنتيجة نهائية للإنقسام الإختزالي.

أ- الإنقسام الإختزالي الأول Meiosis I

١- **المرحلة التمهيديّة Prophase 1** : تظهر الكروموسومات على شكل خيوط رفيعة ويبدأ الغشاء النووي في التلاشي وكل زوج من الكروموسومات المتشابهة يتقارب من بعضه حيث يبدو الكروموسوم الواحد مكرر مرتين وبما أن كل كروموسوم مكون من كروماتيدين لذلك تبدو كل مجموعة مكونة من أربعة كروماتيدات، وفي ذلك الوقت يحدث ما يسمى بظاهرة العبور Crossing over (المفردة أو المزدوجة) بين الكروماتيدات (كما هو موضح بالشكل ٧-٢) وفيه يحدث تبادل بين أجزاء الكروماتيدات، وهذا يعنى تبادل فى الصفات الوراثية ويعتبر العبور الكروموسومى مهماً فى تنوع الكائنات الحية، وفي نهاية هذه المرحلة تتشكل الخيوط المفزلية جيداً وتختفى النوية ويتلاشى الغشاء النووي.

٢- **المرحلة الإستوائية Metaphase 1** : وفي هذه المرحلة تصطف الكروموسومات على طول وسط الخلية فى مجموعتين مقابلتين فمثلاً فى حالة الإنسان يكون ٢٣ كروموسوماً من جهة يقابلها ٢٣ كروموسوماً من الجهة الثانية ويكون عادة كل كروموسوم مقابل للكروموسوم المشابه له.

٣- **المرحلة الانفصالية Anaphase 1** : وفي هذه المرحلة تنفصل وتذهب كل مجموعة كروموسومية من المجموعتين السابقتين (٢٣ كروموسوماً) إلى أحد قطبي الخلية (عادةً يسحب كل كروموسوم برمته من نقطة السنترومير إلى أحد القطبين لذا فإن أجزاء الكروموسوم الواحد لا تنفصل). وفي نهاية هذه المرحلة يحدث انفصال للمجموعتين المتشابهتين من الكروموسومات. وقد يحدث فى نهاية هذه المرحلة أيضاً إنقسام فى السيتوبلازم حيث يفصل بين النواتين لتكوين خليتين جديدتين وأيضاً قد تختفى الكروموسومات ويبدأ تشكل الغشاء النووي وتدخل المرحلة البيئية. وهكذا يصبح لدينا خليتان فى كلا منهما نصف العدد الأصلى (n) من الكروموسومات الأصلية (لاحظ أنه قد تم حدوث تبادل بين أجزاء الكروماتيدات وإنتقال بعض من المادة الوراثية (الجينات) من كروماتيد لآخر).



شكل (٧-٢) : ظاهرة العبور الكروموسومي المفرد والمزدوج

ب- الإنقسام الاختزالي الثاني : Meiosis II :

هذا الإنقسام يتم للإنقسام الاختزالي الأول، وهو نفس الخطوات والمراحل التي تحدث في الإنقسام غير المباشر وملخص هذا الإنقسام أن كل خلية من الخليتين الناتجتين من الإنقسام الاختزالي الأول تنقسم إنقسامًا غير مباشر وينتج عنه أربعة خلايا كل منها يحتوي على العدد الأحادي من الكروموسومات الأصلية، وفي حالة الإنسان يتكون عندنا حيوانات متوية (أربعة حيوانات) وبويضات (بويضة واحدة ناضجة) وفي كل حيوان منوي أو بويضة العدد الفردي (٢٣ كروموسوما) فإذا ما

يجتمع الحيوان المنوى مع البويضة يتكون للزيجوت وبه ٤٦ كروموسوماً، أى العدد الأصلي من الكروموسومات. وهذا يفسر لنا كيفية بقاء عدد الكروموسومات ثابتاً فى جميع خلايا الفرد أو النوع الواحد.

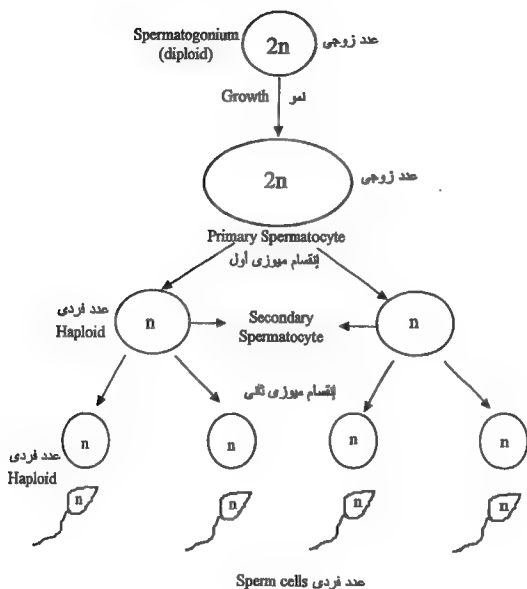
ويجدر الإشارة هنا أن الإقسام الميوزى فى الذكور ينتج عنه أربعة حيوانات منوية بينما فى الإناث ينتج عنه بويضة واحدة.

عملية تكوين الحيوانات المنوية Spermatogenesis

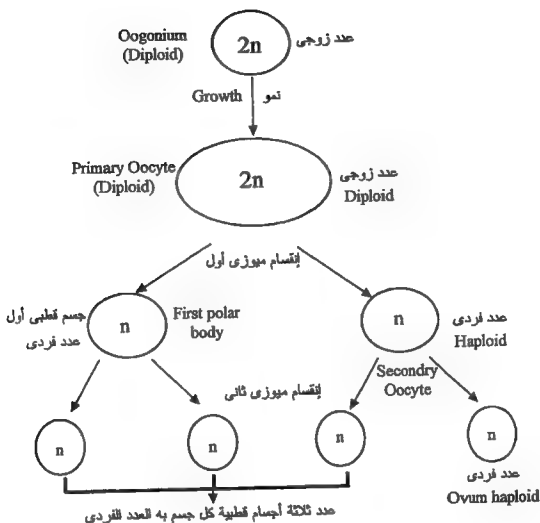
الإقسام الميوزى فى الذكور ينتج أربعة حيوانات منوية من الخلية المفردة التى بها العدد الزوجى Single diploid cell ولثناء هذه العملية ينقسم السيتوبلازم بالتساوى لينتج أربعة جاميطات كل جاميطة بها العدد النردى للكروموسومات من خلية واحدة بها العدد الزوجى كما هو موضح (شكل ٧-٣).

عملية تكوين البويضات Oogenesis

أما بالنسبة للإناث فالخلية المفردة الثنائية الكروموسوم Single diploid cell تعطى ببويضة واحدة وبالتالي لكل السيتوبلازم تقريباً يبقى فى هذه البويضة أما الكروموسومات المعتبعة فتستبعد فى الأجسام القطبية Polar bodies كما هو موضح (شكل ٧-٤).



شكل (٧-٣) : صلية تكوين الحيوانات المنوية Spermatogenesis

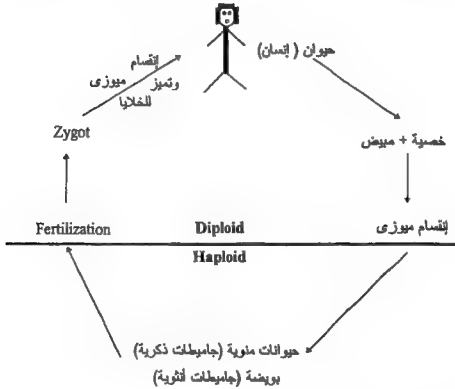


شكل (٤-٧) : صلية تكوين البويضات Oogenesis

دورة حياة الحيوان تنقسم إلى مرحلتين :

لو نظرنا إلى دورة حياة الحيوان عموماً بما فيها الإنسان فهي تنقسم إلى مرحلتين مرحلة العدد الفردي Haploid stage للكروموسومات ومرحلة العدد الزوجي Diploid stage ومرحلة العدد الفردي هي مرحلة الجاميطات قبل أن تتحد لتكوين الزيجوت Zygote وبعد إخصاب الحيوان المنوي للبويضة (اتحاد الجاميطات) يتكون الزيجوت وبالتالي منذ لحظة الإخصاب هذه تبدأ مرحلة العدد الزوجي حيث يضاعف هذا الزيجوت خلاياه عن طريق الإنقسام الميتوزي وينتج خلايا تحتوي على

الحدد الزوجي ثم تتميز هذه الخلايا إلى ثلاث طبقات هي الإكتوديرم والميزوديرم والإنتوديرم ثم تتميز هذه الطبقات إلى أربع أنواع من الأنسجة هي النسيج الطلائي والعصبى والمغضى والعضام ثم تتميز هذه الأنسجة إلى أجهزة للجسم المختلفة ومنها الجهاز التناسلى الذى يقوم بإنتاج جاميطات بها الحد الفردى للكرموسومات وبالتالي تبدأ مرحلة الـ Haploid stage كما هو موضح بالشكل (٧-).



شكل (٧-٥) : دورة حياة الحيوان والإنسان

أسس الوراثة الفسيولوجية Principles Of Physiological Heredity

اكتشف الحامض النووى DNA عام ١٩٥٣م عن طريق العالمين واطسن وكريك حيث اكتشف فى ذلك الوقت البناء الفيزيائى للـ DNA ثم تلا ذلك حل رموز الشفرة الوراثية Genetic Code حيث وجد أن الحامض النووى DNA يتكون من قواعد وتسمى هذه القواعد بالحروف الوراثية A-T-G-C ويجدر الإشارة هنا أنه لا يوجد كائن حى خالى من الحامض النووى DNA إلا بعض الفيروسات التى تحتوى على RNA (لاحظ أن الفيروس ما زال محل جدال عن كونه كائن حى من عدمه لكنه عبارة عن طرد من DNA أو RNA). ويجدر هنا الإشارة أن تاريخ وتطور علم الوراثة

ينقسم إلى مرحلتين وهما المرحلة الكلاسيكية (الإستاتيكية) والمرحلة الديناميكية. وبالنسبة للمرحلة الكلاسيكية فهي مرحلة ما قبل سنة ١٩٤٤م. وكانت مرحلة وصفية بالمقام الأول حيث كانت تتكلم عن الجينات كموامل وراثية تنقل الصفات من جيل لآخر لكن لا تتكلم عن تكوين أو تركيب هذه الجينات. أما المرحلة الديناميكية لعلم الوراثة وهي حقبة أو ثورة للـ DNA وهي مرحلة ما بعد الخمسينات حيث أثبتت أن هذه المرحلة أن الحامض النووي DNA يتكون من أربع قواعد يمكن أن ترتب إلى ما لا نهاية من الترتيبات وترتيباتها المختلفة هذه تظهر للصفات الشكلية أو المظهرية المختلفة. كما وجد أن جزء DNA هو الجزء الوحيد الأكثر ترتيباً حيث وجد أن القاعدة T ترتبط دائماً بالقاعدة A والقاعدة G ترتبط دائماً بالقاعدة C ويتميز المرحلة الديناميكية بأنها تصاحبت معها ثورات ثلاث وهي : ١- ثورة DNA السابق ذكرها. ٢- ثورة DNA والتي تم فيها إكتشاف إنزيمات بلمرة DNA وإنزيمات النسخ العكسي وإنزيمات القطع المتخصصة. ٣- ثورة الهندسة الوراثية وبالتالي تصاحبت هذه الثورات الثلاث منذ الخمسينات وحتى الآن. وأهمية هذه المرحلة ترجع إلى أنها أضافت طرق أخرى للعلماء للتعامل مع الكائنات الحية ومثالاً لذلك فجينات تمثيل الكلوروفيل في النباتات يمكن الآن نقلها للنبات لتحسين التمثيل الكلوروفيلي مما يسبب زيادة الإنتاج وزيادة نسبة أكسجين الهواء الجوي أيضاً وبالتالي يمكن الإستغناء عن الكماليات في هذا المجال.

وفي الأربعينات كان هناك عالم يعرف بإسم ليندو وكان يؤمن بوراثة الصفات المكتسبة من جيل لآخر بمعنى توريث الصفات الفيزيائية وهذا خطأ ففي تجارب تم فيها قطع ذيل الفئران لعدة أجيال لكن فيما بعد كان للنسل الناتج له ذيل وبالتالي أسقطت نظرية ليندو.

وهناك فارق كبير وواضح بين الخلايا الجسمية Somatic cells والخلايا الجنسية Gametic cells فالمعالجة بين الأجيال هي مشكلة بين للجسميات لأن الجسم فاني بينما الصفات الوراثية مستمرة وما يؤثر على الصفات الجسمية ليس بالضرورة أن يؤثر على الصفات في الأجيال التالية.

مادة الوراثة هي الحامض النووي دن.أ DNA Is The Genetic Material

أثبتت الدراسات والتجارب السابقة وجود تلازم دقيق بين نظم انتقال الجينات من جيل لآخر (كأنون الإنزال أو التوزيع الحر) وبين سلوك الكروموسومات أثناء الانقسام الإختزالي (الانقسام الميوزي) وصعوبة الإخصاب. وبالتالي فهذه الدراسات قدمت دليلاً قوياً على أن الجينات توجد عادة على الكروموسومات والتي يذهب الحد القدرى منها إلى للجسميات. والمادة الوراثية (الجينات) لابد أن تحلق هدفين هما : ١- وظيفة التركيب للوراثي أو التناسخ (التكرار) The genotype function or replication والتي تكون فيها مادة الوراثة قادرة على تخزين المعلومات الوراثية ونقل هذه المعلومات بمنتهى النظام والدقة من الآباء إلى الأبناء على مدى الأجيال المتعاقبة. ٢- وظيفة الشكل المظهري

أو تعبير الجين The phenotype function or gene expression وهي قيام مادة الوراثة بتنظيم تطور وتكوين الشكل المظهري للكائن الحي فهي تقوم بتنظيم نمو وتطور وتكشف الكائن الحي من التغيرات وحيد الخلية إلى الإنسان أو الحيوان للكامل البالغ ويعني ذلك أن مادة الوراثة يجب أن تقوم بصناعتها لها النمو والتشكل (التكشف أو ظهور الشكل المظهري) ولأداء والتحكم في هذه العملية فإن الجينات ليس عليها أن تحبر عن نفسها بقطة قطع لكن من الضروري على كل جين أن يشغل ويسل في الوقت والمكان المناسبين. لكي تضمن تميز الخلايا مثلاً وتميز أنسجة الجسم عن بعضها فمثلاً للكبد يتكون من خلايا كبدية والجهاز العصبي من خلايا عصبية كما يعمل الجهاز التناسلي في وقت مناسب (حدد البلوغ في الإنسان عمر ١٣ سنة تقريباً)، ومثلاً آخر فالصانع صفة وراثية لكنه يحدث عند عمر معين في الإنسان وغير ذلك من الأمثلة الكثيرة والتي يراها الإنسان حال حياته أو التي تبدو على حياة الحيوانات بصفة عامة.

والكروموسومات تتكون من نوعين من الجزيئات العضوية الكبيرة هما البروتينات والأحماض النووية وكما ذكرنا من قبل فالأحماض النووية يوجد منها نوعان هما :

١- الحامض النووي الديوكسي ريبوزي (Deoxyribonucleic acid (DNA

٢- الحامض النووي الريبوزي (Ribonucleic acid (RNA

وفي الماضي كان هناك خلاف على أي من هذه الجزيئات الثلاثة يحمل المعلومات الوراثية. وقد أوضحت للتجارب أن المعلومات الوراثية توجد بالتحديد في الحمض النووي DNA ، وفي بعض الفيروسات في الحمض النووي RNA لكنها لا توجد في جزيئات البروتين.

وهناك بعض الأمثلة الغير مباشرة على أن DNA هو مادة الوراثة وهي : ١- أن أغلب الـ DNA يوجد في الكروموسومات لدخل اللواة بينما يوجد RNA والبروتينات في السيتوبلازم. ٢- أن معظم الخلايا الجسمية تحتوي على كميات من DNA ضعف الكمية الموجودة لجاميطات نفس النوع، وبالتالي فهناك علاقة دقيقة بين كمية DNA لكل خلية وعدد الكروموسومات الموجودة بها. ٣- تشابه التركيب الجزيئي لحمض DNA في كل أنواع خلايا الكائن الحي بينما يختلف تركيب حمض RNA والبروتينات في الأنواع المختلفة من الخلايا. وهذه العلاقات تؤكد لكن بطريقة غير مباشرة على أن DNA هو مادة الوراثة، أما الدليل المباشر على أن الحامض النووي DNA هو مادة الوراثة ولبيمت البروتينات أو RNA فهو التحول في بكتريا النيموكوكس Transformation in pneumococcus فقد اكتشف أن المكون الخلوي المسؤول عن ظاهرة التحول في بكتريا النيموكوكس هو الحمض النووي DNA (التحول Transformation : هو نظام تبادل أو إنتقال المادة الوراثية

من كائن إلى آخر وهو يحدث في عديد و ليس في كل أنواع البكتريا، والتحول لا يتضمن الاتصال المباشر بين الخلايا البكتيرية أو وجود الوسيط مثل الفيروس) وهناك نوعان من بكتريا النيموكوكس نوع ممرض يصيب الفئران بالإلتهاب الرئوى ونوع غير ممرض لا يصيب الفئران بالإلتهاب الرئوى وقد وجد بالتجربة الآتى :

- ١- حقن : إن بكتريا ممرضة حية من طراز IIIS تسبب الإصابة بالإلتهاب الرئوى.
- ٢- حقن لعنران ببكتريا ممرضة مقتولة من طراز IIIS لا تسبب إصابة بالمرض.
- ٣- حقن الفئران ببكتريا غير ممرضة من طراز IIR لا تسبب إصابة بالمرض.
- ٤- حقن الفئران بخلوط من بكتريا ممرضة مقتولة من طراز IIIS وبكتريا حية غير ممرضة من طراز IIR يسبب الإصابة بالإلتهاب الرئوى مما يؤكد إنتقال الـ DNA من البكتريا الممرضة إلى البكتريا الحية لتغير ممرضة (نظام التحول أو الإتحادات الجديدة) ذلك حيث أن الطرز IIR لا يمكنه التطور إلى الطراز IIIS وبناءً عليه فإن تحول البكتريا الغير ممرضة من طراز IIR إلى الطراز IIIS الممرض لا يفسر على أساس حدوث الطفرة بل يفسر على أساس أن أحد مكونات الخلايا الميتة IIIS (أساس التحول) لابد أن تكون حولت الخلايا الحية من طراز IIR إلى الطراز IIIS.

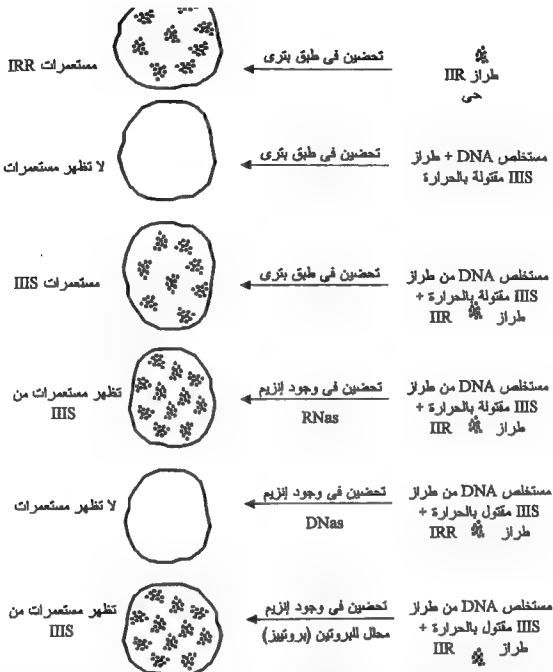
وقد أثبتت التجارب التالية لهذه التجربة أن ظاهرة التحول Transformation لا تحتاج إلى وسيط أو عائل إذ يمكن الحصول على نفس النتيجة في البنية إختبار باستخدام مستخلصات من طرز البكتريا السابقة. وما أنه قد ثبت أن الطرز المظهرى للجديد (طرز IIIS) يورث (وهذا دليل على تغير وراثى دائم فى التركيب الوراثى للخلايا البكتيرية) لذلك فتجارب التحول هذه حدثت الأساس الكيمىائى للورثة فى بكتريا النيموكوكس والباقى هو تحديد أى مكونات الخلية المستخلصة هو أساس هذا التحول. وإثبات أن أساس هذا التحول هو DNA قام العلماء بإجراء تجارب أثبتوا فيها أنه إذا وجد DNA على النقاة والخاص بالمسألة IIIS مع الطراز IIR فإن بعض البكتريا تتحول إلى الطراز IIIS وإثبات أن الحامض النووى DNA كان نقياً بالنقل لجا هؤلاء العلماء إلى إستخدام الإنزيمات للمحله لكلا من DNA & RNA والبروتينات كما هو موضح بالشكل (٦-٧).

بعض الفيروسات الصغيرة مادة للورثة فيها هى RNA : تحتوى بعض الفيروسات الصغيرة على طرد من RNA مغلف ببروتين ولا تحتوى على DNA. وأول التجارب التى أثبتت أن RNA هو مادة الوراثة فى بعض الفيروسات هى تجارب إعادة التكوين Reconstitution وقد إستخدم فى هذه التجارب فيروس موزايكه التبغ TMV حيث يتميز هذا الفيروس بإحتوائه على جزئ واحد من

حامض RNA مخلف بالبروتين. ويمكن بمعاملات كيميائية فصل الغلاف البروتيني عن RNA الفيروس وهي عملية عكسية أى يمكن عند خلط البروتينات والـ RNA الفيروسي تحت ظروف معينة يمكن إعادة تكوين وحدات فيروسية كاملة من فيروس TMV. وفي تجريبه تم فيها فصل الغلاف البروتيني عن RNA فى سائلين مختلفين من هذا الفيروس، ثم بعد ذلك تم خلط بروتين الفيروس الأول مع RNA الفيروس الثانى، وخلط بروتين الفيروس الثانى مع RNA الفيروس الأول. وعندما استخدمت الفيروسات الناتجة من عملية الخلط هذه فى عملية عدوى أوراق التبغ كان ناتج (نسل) الفيروسات السابقة مطابقاً لسلسلة الفيروس الأبوية التى أخذ منها RNA الفيروس، ومعنى ذلك أن المادة الوراثية فى فيروس TMV موجودة ومخزنة فى RNA الفيروس وليس فى الغلاف البروتيني للفيروس.

تضاعف المادة الوراثية DNA Replication

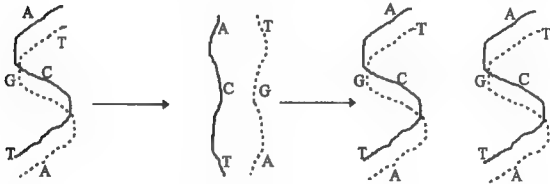
يعتبر تضاعف المادة الوراثية DNA هو مركز لجميع العمليات البيولوجية وذلك لأنه يعتبر المخزن الوحيد للمعلومات الوراثية التى تنتقل بطريقة دقيقة من الآباء إلى النسل الناتج. وتضاعف المادة الوراثية DNA يتم بثلاثة طرق هي : ١- الطريقة الشبه محفظة. ٢- الطريقة المحافظة. ٣- الطريقة التشتية.



شكل (٧-٦) : الشكل يوضح أنه عندما تم تحضين طراز IIR بهارده في ميويم الدم ظهرت منه مستعمرات كما أنه عندما تم تحضين طراز IIIS مقتول بالحرارة مع مستخلص DNA لم تظهر مستعمرات أما عند تحضين مستخلص DNA من بكتريا مقتولة بالحرارة من طراز IIIS مع طراز IIR الحي ظهرت مستعمرات من IIIS حتى لو أضيف للحالة الأخيرة كلا من إنزيمي RNAs المحال للحامض النووي RNA أو إنزيم بروتينيز Protease المحال للبروتين - أما لو أضيف للحالة الأخيرة إنزيم DNAs المحال للحامض النووي DNA فإنه لا تظهر مستعمرات مما يثبت أن DNA بهارده هو المادة الوراثية التي إنتقلت حيث عندما تم تحليل RNA والبروتين والتخلص منهم إنتقلت المادة الوراثية وتكونت مستعمرات من IIIS أما عندما تم التخلص من DNA بتخليبه بإنزيم DNAs لم تنتقل المادة الوراثية ولم تتكون للمستعمرات.

١ - الطريقة الشبه محافظة لتكرار DNA : Semiconservative Replication Of DNA

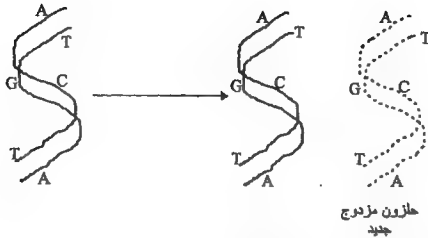
علمنا مما سبق أن الحامض النووي DNA يتكون من حلزون مزدوج تتزاوج فيه القواعد بنظام محدد هو القاعدة A مع القاعدة T، القاعدة G مع القاعدة C. وبالتالي فإن تزاوج القواعد هذا يمدنا بأساس الميكانيكية البسيطة لتكرار الحامض النووي DNA فإذا تكسرت الروابط الهيدروجينية لكل زوج من القواعد وبالتالي انفصل الخيطان المكونان للحلزون المزدوج، وكل خيط أبوي في هذه الحالة يمكن أن يدير عملية تكوين خيط مكمل جديد على أساس شروط نظام تزاوج القواعد الأزوتية السابق ذكره. وبالتالي فكل خيط أبوي يعمل كقالب لخيط جديد فمثلا الأدينين (A) في الخيط الأبوي يعمل كقالب لوضع الثيامين (T) في الخيط المكمل الناتج، وأيضاً فالسيتوزين (C) في الخيط الأبوي يعمل كقالب للجوانين (G) في الخيط المكمل الناتج. وسميت هذه الطريقة في تكرار DNA بالطريقة الشبه محافظة للتكرار نظراً لأن الحلزون الأبوي المزدوج يحافظ عليه أو أن الحلزون الأبوي المزدوج يحفظ عليه جزئياً أثناء تناسخ (تكرار) DNA (شكل ٧-٧).



شكل (٧-٧) : ديجرام يوضح الطريقة الشبه محافظة في تكرار DNA

٢ - الطريقة المحافظة للتناسخ Conservative Replication Of DNA

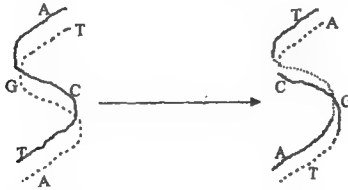
وتبقى في هذه الطريقة من التناسخ الحلزونات الأبوية المزدوجة كما هي بدون أن تتفصل (من هنا جاءت التسمية أنها محافظة عليها تماماً) حيث يقوم الحلزون المزدوج بتكوين حلزون مزدوج جديد مكون من خيطين مخلقين جديدين (شكل ٨-٧).



شكل (٧-٨) : ديجرام يوضح الطريقة المحفوظة للتتبع

٢- الطريقة التشتتية للتتبع : Dispersive Replication Of DNA

وفي هذه الطريقة تتداخل معاً أجزاء من الخيوط الأبوية والخيوط الجديدة من خلال صليبات تكسير وتخليق وإعادة إلتحام هذه القطع.



شكل (٧-٩) : ديجرام يوضح للتداخل العشوائي (تكسير - تخليق - إعادة إلتحام) أثناء الطريقة التشتتية للتتبع

الطفرة Mutation : هناك نوعان من الطفرات هما الطفرات التلقائية والطفرات المستحثة

الطفرة التلقائية Spontaneous Mutation : هذه الطفرة تحدث بدون مسبب معروف وتكون تلقائية الحدوث فعلاً. وتنتج مثل هذه الطفرات من المعدلات الضئيلة لأخطاء التمثيل الغذائي كما تحدث كنتيجة لأخطاء ضئيلة أيضاً عند تناسخ (تكرار) DNA. وتحدث هذه الطفرة فجأة وتورث عبر

الأجيال. هذا ويجدر الإشارة إلى أن معدل الطفرات الذاتي (التلقائي) ضئيل جدا ويتراوح بين واحد لكل مائة ألف إلى واحد إلى كل عشرة مليون.

الطفرة المستحثة Induced Mutation : هذه الطفرة تنتج عند تعرض الإنسان أو الحيوان أو الكائن الحي صرماً إلى عوامل الطفرات كالأشعة السينية X-rays أو الإشعاع Radiation أو للأشعة فوق البنفسجية أو بعض الكيماويات التي يمكنها التفاعل مع DNA . هذا ومن الصعب تمييز ما إذا كانت الطفرة تلقائية (طبيعية) أو طفرة مستحثة.

والطفرات التلقائية إما أن تكون طفرات موضعية تؤثر في مناطق من الكروموسوم (مثل استبدال قاعدة بأخرى أو نقص أو إضافة قاعدة أو عدة قواعد). أو تكون طفرات كروموسومية أو تغييرات تؤثر في قطع كبيرة من الكروموسوم أو في العدد الكروموسومي الكلي للنوع. والطفرات الموضعية إما أن تكون :

١- طفرات الإحلال Substitution : وفي هذا النوع من الطفرات يحل زوج واحد من القواعد أو

أكثر من زوج واحد من القواعد محل زوج آخر أو أكثر مثل إحلال الـ T-A محل الـ G-C.

٢- طفرات الإضافة Addition : وفي هذا النوع من الطفرات يضاف زوج واحد أو أكثر من القواعد.

٣- طفرات النقص Deletion : وهي عكس طفرات الإضافة وفيها ينقص زوج واحد أو عدد محدود من أزواج القواعد.

٤- طفرات الإرتداد Reversion : وتسمى أيضاً الطفرات العكسية. وهذه للطفرة تترد عكسياً من الطرف الظاهر إلى أصله بمعنى أن تعود الطفرة إلى التركيب الوراثي الأصلي (كما كان).

٥- طفرات الكبت Suppression : طفرات الكبت معناها ظهور طفرة على موقع آخر من الكروموسوم هذه الطفرة تمنع أو تخفي للتعبير المظهرى للطفرة الأولى على نفس الكروموسوم. ولذلك فإن طفرة الكبت سوف تعلى كائن يظهر أنه عنده طفرة إرتداد لكنه في الحقيقة هو طافر طفرتين مزدوج فالطفرة الثانية كبت للطفرة الأولى والشكل ٧-١٠ يوضح الأنواع المختلفة للطفرات الموضعية.

Original sequence	C A T G T A	C A T G T A	C A T G T A	تتابع أصلي
Substitution	C A T G T A	T A T A T A	C A T G T A	طفرة إحلال
Addition	C A T G T A	G C A T C G T A	C A T G T A	طفرة إضافة
Deletion	C A T G T A	↓ A T ↑ T A	C A T G T A	طفرة نقص
Reversion	C A T G T A	C A T G T A	C A T G T A	طفرة إرتداد (عكسية)
Suppression	C A T G T A	T A T A T A	C G T G C A	طفرة كبت

شكل (٧-١٠) : ديجرام يوضح الأشكال المختلفة للطفرات الموضوعية ويلاحظ في الشكل أنه في طفرة الكبت فإن تغير إلى G-C بدلا من A-T أثر بطيئة ما على منع ظهور التغير في الشكل المظهرى للنتج عن ظهور الموقع الآخر من C-G إلى T-A.

ظاهرة إختلاف كمية المادة الوراثية DNA : إذا كان التركيب الوراثي يتفق مع التدرج

للرقي مثل الإنسان إلا أننا نجد أن بعض البرمائيات تفوق في محتواها الوراثي ما يوجد في الإنسان فما معنى ذلك ؟ والإجابة على هذا السؤال تتضح في أنه لم يكن هناك تفسير علمي واضح لذلك ولكن تم إكتشاف تأثير بعض المواد الكيميائية والتي تعمل على تضاعف المادة الوراثية دون إتقسام الخلايا وهذا هو بداية الطريق الصحيح للكشف العلمي لزيادة المادة الوراثية في البرمائيات وقد أوضحت الأبحاث أنه يحدث تضاعف نووي أو بمعنى آخر تضاعف للمادة الوراثية DNA داخل الخلية كنتيجة للتعرض لبعض الكيماويات الموجودة في البيئة المحيطة بهذا الكائن سواء كان حيوان أو نبات. فلهذا بعض الفيروسات المسلكة والتي تحتوي على كم كبير من المادة الوراثية أكثر من الموجود في الحالات العادية ويرجع ذلك لوجود بعض الكيماويات (المواد الكيميائية) في الطبيعة (البيئة المحيطة بالحيوان).

٢- التوزيع الكيميائي للمقلن للمادة الوراثية (نسبة قواعد الـ G-C إلى الـ A-T): يلاحظ أن المادة الوراثية تتكون من القواعد الأساسية (T-A & G-C) فإذا كانت المادة الوراثية داخل خلية تحتوي على (A-T) بنسبة ٧٥% مثلاً: إذا نظرياً فهي تحتوي على (G-C) ٢٥% .

وقد أثبتت الأبحاث أن هناك علاقة بين نسبة الـ G-C في المادة الوراثية ودرجة الرقي فالكائنات الدقيقة تحتوي على نسبة من الـ G-C غير ثابتة وتكون في حدود ٢٤-٧٥% ولكن في الكائنات الراقية وجد أن هذه النسبة أقرب إلى الثبات وتكون حوالي ٤٠% فقط.

والسؤال الآن هل لو كان هناك فردان لهما نفس النسبة الوراثية من الـ G-C يكون لهما نفس الطول والإجابة طبعا لا لأنها ليس بالضرورة حيث أن صفة الشكل المظهري تتكرر بترتيب هذه القواعد وتساوي الكمية لا يعنى أنهما لهما نفس التركيب، كما أن هناك عوامل أخرى تتدخل في إظهار صفة الشكل المظهري (الطول مثلا) مثل الحارز له السالبة والموجبة والحارز له السالبة الفاتكة... إلخ حيث أن هذه لها أثر أيضا على تعبيرات الجين.

آليات التوارث خارج النواة

Extranuclear Inheritance Mechanisms

الوراثية في النطاق النووي أو الناتجة عن إتسام DNA نواة الخلية ترتبط بالكروموسومات داخل النواة وهذا النوع من التوارث يسمى وراثية نووية أو (كروموسومية) ويمثل هذا النوع من التوارث السمة الغالبة في الكائنات الحية الراقية.

ولكن في بعض الأحيان نجد أن بعض الصفات لا ترتبط بالكرموسومات الموجودة داخل النواة ولكن ترتبط بمادة وراثية موجودة خارج النواة مثل الـ DNA الموجود أو مواد أخرى موجودة بسيتوبلازم الخلية وهذا النوع من التوارث يسمى بإسم الوراثة الميتوكوندرية أو الوراثة اللانوية. أو الوراثة اللاكروموسومية أو الوراثة الأمية (ترتبط بالأم) أو الوراثة وحيدة الأبوة (ترتبط بأحد الأبوين) أو الوراثة للامتنية وهذا النوع من التوارث موجود بالطبع في الإنسان لكن لم يدرس بدرجة كافية ولكنه درس بتوسع في الحيوانات والنباتات ونسوق هنا بعض الأمثلة على هذا النوع من التوارث :

١- عامل اللبن : وجد في بعض الفئران أن بعض الإناث تصاب بمرض سرطان الثدي وهذا المرض ينتقل من الأمهات للأبناء عن طريق الرضاعة فإذا حدث تلقيح بين أب سليم وأم مصابة وتمت الرضاعة من الأم المصابة فإن النسل الناتج يكون كله مصاب بسرطان الثدي وتستمر أعراض المرض في الظهور أما إذا تم تغذية (رضاعة للنسل) الناتج من أم سليمة فإن المرض يبدأ أن يتلاشى تدريجياً حتى يختفي تماماً.

والعكس إذا تم تغذية نسل سليم من أم مصابة فتظهر عليه أعراض المرض. مما يدل على أن العوامل الوراثية المسؤولة عن ظهور المرض توجد في لبن الأم فقط وليس للذكر (الأب) تأثير في ظهور المرض.

٢- مثال حشرة الدروسوفلا : عند تربية حشرة الدروسوفلا لوحظ أن بعض الحشرات تكون حساسة بدرجة كبيرة لغاز CO_2 وتنقل هذه الحساسية من الآباء إلى الأبناء عن طريق الأم فقط والدليل على ذلك قام العلماء بالآتي

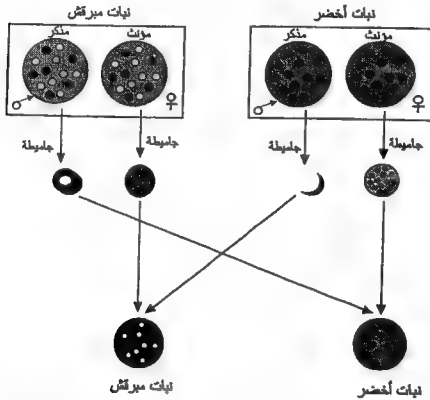
نقل كروموسوم الأفراد الحساسة ← إلى أفراد عادية سليمة

نقل كروموسوم الأفراد السليمة ← إلى أفراد حساسة

وقد وجد أن نقل كروموسومات الأفراد الحساسة إلى أفراد سليمة لم يؤثر في الأفراد السليمة واستمرت الأفراد السليمة كما هي ولم تظهر عليها الحساسية لغاز CO_2 كما أن نقل كروموسومات الأفراد السليمة إلى الأفراد الحساسة لم يؤثر فيها واستمرت حساسة لغاز CO_2 كما هي . ونستنتج من هذه التجربة أن الكروموسومات النووية ليس لها دخل في هذه الحساسية وقد تمكن العلماء من إكتشاف مادة داخل الميتوبلازم Cytoplasm تسمى مادة سيجما نسبة إلى العالم الذي اكتشفها. وعندما تم إستخلاصها من سيتوبلازم الأفراد الحساسة ووضعها في سيتوبلازم الأفراد السليمة ظهرت عليها أعراض المرض مما يؤكد أن الكروموسومات النووية ليس لها دخل في الحساسية لغاز CO_2 وأن هذه الحساسية تنتقل عن طريق الوراثة للميتوبلازمية.

٣- مثال DNA البلاستيدات DNA in Plastids : في أوراق بعض النباتات إكتشف العلماء

إختلاف نتائج التلقيحات العكسية مما يدل على الإحتراف عن الوراثة المنديلية. فقد درست ظاهرة وجود مساحات مختلفة من الألوان تدرج من الأبيض (البينو) إلى الأخضر الداكن في أوراق هذه النباتات ووجد من التجارب أن توارث هذه الصفات يأتي كله عن طريق الأم ولا يأتي من المشاركة المتساوية لكلا من نباتي الأب والأم معا ويوضح ذلك شكل ٧-١١.



شكل (٧-١١) : شكل تخطيطي يوضح الوراثة الميتوكوندرية في بعض أوراق النباتات عند تلقيح جاميطة ذكرية من أب أخضر مع جاميطة أنثوية من أم مبرقشة يكون الناتج نبات مبرقش وعند تلقيح جاميطة مؤنثة من أم خضراء مع جاميطة مذكرة من أم مبرقشة يكون الناتج لـخضر مما يدل على أن هذه الصفة تتبع في وراثتها الأم فقط ولا تأتي من المشاركة المتساوية لكلا من الأم والأب.

DNA في الميتوكوندريا DNA In Mitochondria :

تعتبر الميتوكوندريا هي المصدر الأساسي للطاقة للكائنات الراقية وهي تتساوى في الحجم مع البكتيريا إلا أنها توجد فقط في الكائنات مميزة للنواء ولها قدرة على التكاثر الذاتي وبدون تدخل للمادة الوراثية الموجودة في للنواء.

وتحتوى الميتوكوندريا على جزء بسيط من الـ DNA يصل فى بعض الاحيان من ٠,٣ - ٠,٥% من اجمالى المادة الوراثية الموجودة فى الخلية.

وعند دراسة الميتوكوندريا يجب الأخذ فى الاعتبار هذه النقاط الهامة:

- ١- أن كثافة المادة الوراثية DNA فيها تختلف عن كثافة DNA النواة.
- ٢- نسبة قاعدتى الجوانين والسيتوزين فى DNA الميتوكوندريا ٢١% وفى النواة ٤٠%.
- ٣- آلية تمثيل البروتين فى النواة تختلف عن آلية تمثيل البروتين فى الميتوكوندريا.
- ٤- توجد الميتوكوندريا فى الخلايا الحقيقية ذات الاكوية Eukaryotic cells وليست فى البكتريا او الفيروسات.

وأغلب البحوث التى اجريت على الميتوكوندريا اجريت على الخميرة . وأول طفرة عرفت فى الخميرة وقدمت خبر دليل على وجود الطفرات الميتوكوندريه لمستعمرات هذه الطفرة صغيرة ونقل قدرتها على الانتفاع بالإكسجين عند تمثيل الكربوهيدرات حيث تقلد الميتوكوندريا إنزيم التنفس (سيتوكروم أوكسيداز). وهذا النقص الإنزيمى لا يسبب فقط ضعف التمويل بل يسبب ايضا منع تكويس الجراثيم.

وعقاب الميتوكروم أوكسيداز من الميتوكوندريا لا يعنى أن إنزيم الميتوكروم أوكسيداز يشفر (أو ينتجه) DNA الميتوكوندريا ولكنه يوضح أن التغيرات الطفرية فى DNA الميتوكوندريا تؤدي الى تغيرات موروثه فى الشكل الظاهرى للميتوكوندريا كما أنه إذا ما تمت معاملة خلايا الخميرة بمواد كيميائية معينة ذات تركيزات منخفضة بحيث لا تؤثر على النواة فيؤدى ذلك إلى ظهور العديد من الخلايا الصغيرة الحجم وبالتالي يدل ذلك على أن للصفة الخاصة بصغر الحجم ترجع الى المادة الوراثية الموجودة فى السيتوبلازم وليست المادة الوراثية الموجودة فى النواة وهذا ويتم التفريق بين الكائنات على أساس عدد الكروموسومات وإذا تساوى عدد الكروموسومات بين كائنين يتم التقسيم على أساس المحتوى الوراثى الكلى من DNA (Genomic DNA) ورغم ذلك يوجد أفراد متشابهين فى كل ما سبق وبالتالي فإن التفرقة او التقسيم بين كائنين متشابهين فيما سبق يتم على أساس الـ DNA الموجود فى الميتوكوندريا DNA in mitochondria ويعطى آخر أنه إذا تساوى عدد الكروموسومات بين كائنين فإنه يمكن التقسيم على أساس المحتوى الكلى من الـ DNA أما إذا تساوى أيضا فى المحتوى الكلى من الـ DNA فإنه ليس هناك بدول من التقسيم على أساس محتوى الميتوكوندريا من الـ DNA وهذه هى أحدث طرق التقسيم وحديثا تم الكشف عن بعض الجينات الموجودة داخل الميتوكوندريا والتي لها علاقة كبيرة بعملية إنتاج اللبن فى الثدييات [الإنسان والحيوانات

التخفيف) وترجع هذه العملية إلى أن الجينات المسؤولة عن عملية التمثيل وإنتاج الطاقة ومركب ATP تكون مرتبطة بالميتوكوندريا ومن ثم لها علاقة كبيرة بإنتاج اللبن بعد ذلك.

تأثيرات الأم : Maternal Effects :

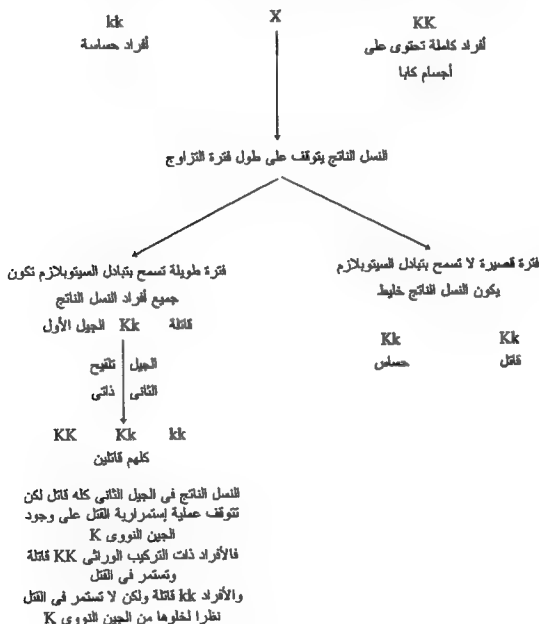
من المتوقع أن تتأثر البويضات والأجنة البيئة الأم الرحمية. فبالإضافة إلى أن الأم هي مصدر الميتوالبلازم فالحمل يتم أيضا داخل البيئة الرحمية للأم ولذلك فهي مصدر الغذاء كما أن لها تأثيرات خاصة على التفاعل الجيني في البويضة أو الجنين. وهناك أيضا احتمال أن تتحدد صفات البويضة قبل الإخصاب بالبيئة الرحمية للأم. كل هذه العوامل التي تؤثر على صفات الجنين وغيرها والتي تتم بواسطة جينات الأم أكثر من الأب نفسه يسمى أو يطلق عليه تأثير الام Maternal effect هذا وفي الحيوانات حوماً يمكن إثبات هذا التأثير الأمي بالتقحيات المعكبة. فعندما يوجد تأثير للأم على صفة معينة فإن نتائج التقحيات المعكبة تختلف عن المتوقع. ويمكن توضيح ذلك بالمثال التالي: فسي بعض الحشرات التي تسمى بفراشة الدقيق تكون الأفراد إما ذات عيون بنية سوداء وبيقات ملونه لوجود العامل الوراثي المسائد A أو ذات عيون حمراء وبيقات غير ملونه ويرجع ذلك لوجود العامل المتنحي a فإذا حدث تقويح



مما يؤكد ان صفة اللون توجد داخل سيتوبلازم الام

العلاقة بين الوراثة النووية والوراثة اللاعوية (الأميه) : في بعض الحالات تكون هناك علاقة بين الوراثة السيتوبلازمية والوراثة داخل النواة بمعنى أنه يتوقف ظهور الوراثة السيتوبلازمية (الشكل المظهري للوراثة السيتوبلازمية) على عامل وراثي داخل النواة (جين معين داخل النواة) أو بمعنى آخر يكون هناك جينات داخل النواة يتوقف ظهور الوراثة السيتوبلازمية عليها ومن الأمثلة على ذلك البرامسيوم فهو حيوان أولي يحتوي على سلالات ثقيلة نظرا لإفرازها مادة البرامسين فسي

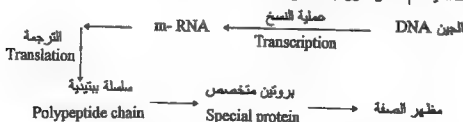
البيئة التي تعيش فيها مما يؤدي لقتل الأكراد الحساسة وهذه المادة القاتلة تفرز في أجسام كبا الموجودة بالسيتوبلازم. هذه الاجسام لا يمكنها التكاثر إلا في وجود الجين K الموجود داخل اللبوء وبالتالي فإن ظهور صفة القتل في البرامسيوم والتي مناشاها السيتوبلازم يتوقف على وجود الجين النووي K والآخر لا يمكنه تخليق أجسام كبا في فرد هي خالية منه ولكن يمكنه فقط المحافظة على إستمرارية تكاثر هذه الاجسام لدخل السيتوبلازم وبالتالي فهذا ما يؤكد العلاقة بين الوراثة النووية والوراثة السيتوبلازمية ويمكن إيضاح ذلك بأنه عند إجراء تليق بين



هذا ونجد اختلاف الشكل المظهرى لأغلب الصفات فى الإنسان والحيوان والكتائنات الحية الراقية صوما وترجع أسباب (مصادر) هذا التباين إلى : ١- التوزيع العشوائى للكروموسومات أثناء التطور الإكتسابى الأول فى الإقسام الميوزى. ٢- ظاهرة الارتباط والمور الذى يحدث فى الطور الضام فى الطور التصيدى الأول فى الإقسام الميوزى. ٣- الإعزالات المنديلة وتعديلات للتساون الثالثى لمتدل. ٤- بعض الأساليب الحديثة والخاصة بالإندماج الخلوى أو إندماج البروتوبلاست أو نقل المادة الوراثية لخليتين لوصبها فى خلية واحدة فقط. ٥- مزارع الأنسجة وهى من أهم النقاط الحديثة المرتبطة بحدوث التباين فى الكتائنات الراقية. ٦- بعض أساليب الهندسة الوراثية وما يصاحبها من نقل للجينات من كائن حى إلى كائن حى آخر.

وظيفة المادة الوراثية : وظيفة المادة الوراثية DNA هو كل ما يتعلق بالتخليق الحوى للبروتينات Protein Synthesis فتمارس أغلب الجينات تأثيرها على الشكل المظهرى عن طريق تخليق البروتينات والبروتينات إما أن تكون بروتينات تركيبية وهى التى تدخل فى بناء الخلية أو بروتينات وظيفية كالأنزيمات والهرمونات البروتينية ويتكون البروتين من سلسلة من عدد من الأحماض الأمينية والإنزيم عبارة عن بروتين (ولاحظ أنه ليس كل بروتين إنزيم) وكل خطوة كيميائية تحتاج إلى إنزيم معين وبالتالي يتحكم فيها بروتين معين، وتختلف البروتينات عن بعضها فى عدد الأحماض الأمينية أو فى تتابع تلك الأحماض الأمينية. والأحماض الأمينية المعروفة حتى الآن عددها ٢٠ حمض أمينى وتختلف عدد الأحماض الأمينية الداخلة فى تكوين البروتين حسب تعقد تلك البروتين ولكن فى نفس الوقت لا تخرج عن كونها ٢٠ حمض أمينى ويأتى إختلاف البروتينات عن بعضها كنتيجة لعملية تباديل وتوافيق فيما بينهم.

الشفرة الوراثية The genetic code : البروتين هو الناتج النهائى لعمل الجين أى أن الشفرة الوراثية ما هى إلا عملية إنتاج بروتين والبروتين الناتج هو الذى يسبب ظهور مظهر الصفة (الشكل المظهرى) وقد وجد أنه فى حالة بروتين يتكون من عدد من السلاسل الببتيدية وجد أن هناك جين لتخليق كل سلسلة أى أنه لتخليق بروتين يدخل فيه أكثر من جين واحد وكما علمنا من قبل أن المعلومات الوراثية مخزنه على صورة شفرة حروفها هى القواعد النيتروجينية الأربعة A-G-C-T ويتبسط شديد تتم الشفرة الوراثية كالتالى :



وإذا أصبح من الثابت أن الجينات تحكم تركيب عديدات الببتيدات ومع اكتشاف RNA الرسول الناضج Mature mRNA الذى يقوم بدور الوسيط فى العملية السابقة (لاحظ أن mRNA يحدث لها عدة تطورات حتى يصبح RNA الرسول الناضج Mature mRNA) والأسوال الآن كيف يمكن لتتابع القواعد الأربعة فى جزء RNA الرسول أن يحدد تتابع الأحماض الأمينية فى سلسلة عديد الببتيد ؟ وما هى طبيعة الشفرة الوراثية genetic code ؟ وما هى علاقتها بتتابع القواعد من جزء RNA الرسول (أو تتابع أزواج القواعد فى جزء RNA) وتتابع الأحماض الأمينية ؟ ومن الواضح أن الرموز المستعملة فى الشفرة تحبر عن القواعد الأربعة ولكن ماذا يحتوى الكودون : وهو الوحدة أو الكلمة التى تحبر عن حمض أميني واحد، أو بتعبير آخر معقد الحمض الأميني مع جزء RNA (النال One amino acyl-t RNA-Complex). وكل هذه التساؤلات يمكن إيجابها ببساطة فى الموضوعات التالية :

ثلاثة نيوكليوتيدات لكل كودون (الشفرة الوراثية ثلاثية النيوكليوتيدات) :

Three Nucleotides per codon :

١- هناك ٢٠ حمض أميني مختلف تندمج مع بعضها أثناء الترجمة وبالتالي فهناك ٢٠ كودون يجب أن تتكون باستعمال الأربعة رموز، فلو فرضنا أن الكودون يحتوى على قاعدتين نيوكليوتيديتين فقط فإن الناتج يكون $4^2 = 16$ كودونا مختلفا وواضح أنها غير كافية أما لو كان كل كودون يتكون من ثلاث قواعد نيوكليوتيدية فإن العدد الممكن تكويده هو $4^3 = 64$ كودونا. وواضح أن هذا العدد يكفى ويزيد عن عدد الأحماض الأمينية المطلوبة (٢٠ حمض أميني).

ترادف الشفرة الوراثية والتلرجح (مرونة الشفرة الوراثية): جميع الأحماض الأمينية ما عدا الميثيونين والنتريوتوفان لها أكثر من كودون فبعضها له ستة كودونات وبعضها له أربعة كودونات ووجود أكثر من كودون لكل حمض أميني يسمى ترادف الشفرة والمتراذفات الخاصة بالشفرة الوراثية ليست عضوية فعلى العكس فهى مرتبة تماما. وهناك طرازين للمتراذفات هما :

١- ترادف جزئى : وفى هذا النوع من الترادف يتم تغيير القاعدة الثالثة من البيدين إلى البيرميدين أو العكس. ٢- ترادف كلى : وفى هذا النوع من الترادف يمكن تغيير أى من القواعد الأربعة فى المواقع الثالث من الكودون بحيث أن الكودون مع تغير الموقع الثالث لا يتأثر ويستمر فى إنتاج نفس الحمض الأميني وعلى سبيل المثال المثالين يتخصص له الكودونات التالية GUC , GUU , GUG , GUA وبالتالي فى حالات كثيرة لا يظهر الأثر الضار للطفرة حيث أنه مع تغير أحد

التواجد يمكن أن ينتج الكودون نفس الحمض الأميني كما أنه لكل حمض أميني عدة كودونات تقوم بإنتاجه.

كودونات الإبتداء والإنتهاء : الشفرة الوراثية مزودة أيضاً بالقواعد (العلامات) الخاصة بالمعلومات الوراثية على مستوى للترجمة، فهناك شفرات تختص بإعطاء الإشارة لبداية تكوين السلسلة الببتيدية وهناك أيضاً شفرات متخصصة لدخول أى منها يؤدي إلى وقف عملية التخليق للسلسلة الببتيدية. وللكودونات المتخصصة في وقف عملية التخليق للسلسلة (كودونات الإنتهاء) عددها ثلاثة هي UGA & UAG & UAA أما عن كودى الإبتداء (مسببان لبداية تكوين السلسلة) فهما AUG & GUG.

عمومية أو شمولية للشفرة : يقترح كثير من العلماء بناءً على للمعلومات المتوفرة حالياً من البحوث العلمية بأن الشفرة الوراثية واحدة أو قريبة جداً في جميع الكائنات، لكن هناك إستثناءات من عمومية أو شمولية الشفرة الوراثية ومثالاً لها ما يحدث في ميتوكوندريا الإنسان والخميرة والعديد من أنواع الكائنات الأخرى حيث يكون الكودون UGA خاص بالترينوفان وهو التتابع الذى يحدد إنتهاء الترجمة في النظم الأخرى، وأيضاً في ميتوكوندريا الخميرة للتتابع CUA يختص بالميثيونين بدلاً من الليوسين كالمعتاد وفي ميتوكوندريا الثدييات فإن AUA يتخصص الميثيونين بدلاً من الأيسوليوسين كما هو معتاد وبالتالي لو إستبعدنا هذه الإستثناءات يتضح لنا أن الشفرة عامة أو شاملة (شمولية الشفرة) هذا وهناك دلائل كثيرة تشير إلى أن الحامض النووي RNA هو المسؤول عن تخليق البروتينات من هذه الدلائل : -1- غالبية RNA موجود في السيتوبلازم ومن المعروف أن جميع RNA تخلق من DNA الموجودة في النواة وتخرج إلى السيتوبلازم -2- هناك تناسب طردي بين كمية RNA وكمية البروتين -3- هناك خلايا نشيطة في تخليق البروتين مثل البنكرياس وبالتالي يحتوي على كمية كبيرة من RNA أما للخلايا الغير نشيطة في تخليق البروتين تحتوي على كمية قليلة من RNA مثل الرئة -4- تكف عملية تخليق البروتين بالإضافة لإنزيم RNAase والذي يهدم RNA -5- يحتوي الريبوزوم الذى يقوم بتخليق البروتين على كمية كبيرة من RNA -6- تزيد كثافة تخليق البروتينات في الأنسجة الحيوانية بزيادة الريبوزومات.

هذا وتنتقل المعلومات الوراثية من DNA إلى RNA ثم تخليق البروتين عن طريق عمليتين

رئيسيتين هما :

1- **النسخ Transcription :** ينتقل المعلومات الوراثية من DNA إلى RNA وإنتاج هذا الـ

RNA (Mature mRNA) .

٢- الترجمة Translation : وينتج عنها عملية تخليق البروتين.

• لاحظ الفرق بين كلمتين هما النسخ Transcription وهو ما سبق أن عرفناه والتضاعف Replication وهو تضاعف الـ DNA نفسه.

ويحافظ الكائن الحي على نفسه من الافتراض عن طريق إنتاج الجاميطات بالإقسام الميوزي وهذه الجاميطات تحتوي على نسخة من المادة الوراثية الموجودة بالأبوين ووظيفة هذه المادة هو نقل الصفات من الآباء إلى الأبناء وذلك بإنتاج الإنزيمات والهرمونات (بروتينات) التي تظهر الشكل المظهري لهذه الصفات وهذه البروتينات مصدرها هو ترجمة المعلومات الموجودة في خيط m-RNA والذي ينتج بدوره من عمليات النسخ للـ DNA.

تعريف النسخ Transcription : هو نقل المعلومات الوراثية الموجودة في الـ DNA داخل النواة إلى m-RNA خارج النواة ثم تكوين Mature mRNA .

أما عملية الترجمة Translation : فهي تحويل لغة القواعد الموجودة في صورة Mature m-RNA إلى لغة الأحماض الأمينية الموجودة في السلاسل الببتيدية.

ويجدر الإشارة هنا إلى أن هناك فارق في التوقيت بين عمليتي النسخ والترجمة في الكائنات الراقية والأولية فعمليات النسخ والترجمة في الكائنات الدقيقة تتم مع بعضها أي أن هناك تداخل بين كلا العمليتين ولكن في الكائنات الراقية هناك فارق زمني حيث أن النسخ يتم داخل النواة وبعد فترة زمنية تتم عملية الترجمة خارج النواة وبالتالي فهي عكس الكائنات الدقيقة.

عملية النسخ Transcription : من المعروف أن الجينات هي عبارة عن أجزاء من الكروموسومات أو مواقع على الكروموسومات وتتكون من DNA الموجود في أنوية الخلايا في الكائنات مميزة النواة ، في حين أن البروتينات يتم بناؤها في السيتوبلازم. وعلى ذلك فلا يستطيع DNA أن يعمل كقالب مباشرة في بناء البروتين وبدلاً من ذلك فإن أحد خيطي DNA والمسمى بالخيط المعلى يستعمل كقالب خيط للـ Messenger RNA (m-RNA) وعندئذ يحمل Mature m-RNA المعلومات الوراثية من نقط نسخها في النواة إلى مواقع بناء البروتين وهي الريبوسومات في السيتوبلازم وينشط عملية النسخ هذه إنزيمات بلمرة RNA (RNA Polymerases).

عملية الترجمة Translation : وهي العملية التي يتم فيها ترجمة المعلومات الوراثية إلى تتابع الأحماض الأمينية في ناتج الجين من عديد من الببتيدات طبقاً للشفرة للوراثية وهي عملية معقدة تحتاج إلى توظيف عدد كبير من الجزيئات الكبيرة وتشتمل : -١- حوالي ٥٠ نوع من الببتيدات العديدة Polypeptides وثلاثة إلى خمسة جزيئات RNA توجد في كل ريبوزوم -٢- تشمل

أيضا على أكل تقدير حوالى ٢٠ نوع مختلف من الإنزيمات المنشطة للأحماض الأمينية وتسمى
Aminoacyl-t-RNA synthetase ٣- أنواع مختلفة من جزيئات t-RNA قدر بحوالى ٤٠ -
نوع ٦٠ -٤- وعملية بداية وإستطالة وإنتهاء سلسلة عديد الببتيد تتضمن على الأكل ٩ أنواع من
البروتينات الذاتية.

وحيث أن هذه الجزيئات الكبيرة وبخاصة مكونات الريبوسوم توجد بكميات فى كل خلية لذا فإن
نظام الترجمة يشكل الجزء الرئيسى من جهاز الأيض (البناء والهدم Metabolism) فى كل خلية.
وعملية الترجمة تحدث على الريبوسومات Ribosomes (يتكون نصف الريبوسوم تقريبا من بروتين
والنصف الآخر من RNA) وهى تعمل كمضد لتخليق البروتين والريبوسومات عبارة عن جزيئات
كبيرة معقدة للتركيب موجودة فى السيتوبلازم. وعملية الترجمة Translation تتضمن الأتى : ١-
ثلاثة أنواع من RNA الرسول (m-RNA) جميعها تتمخ من DNA القالب ٢- بالإضافة إلى الـ
mRNA توجد ثلاثة إلى خمسة جزيئات من RNA الريبوسومى (rRNA) ومن ٤٠-٦٠ جزء صغير
من RNA النقال (tRNA) ووظيفتها المساعدة فى دخول الحمض الأملى أو نقل الحمض الأملى
من السيتوبلازم إلى الريبوسوم كاستجابة للشفرات الخاصة فى RNA الرسول (Mature m-RNA)
وبالتالى يعمل الريبوسوم كما ذكرنا من قبل كمضد لتخليق البروتينات بالإضافة إلى الأدوات التى
يحتاجها عمل عديد الببتيدات.

تنظيم وضبط تعبير (إيقاع) الجين : كدينا كان يعتقد أن الجين هو الوحدة التى يتم عن
طريقها التوارث وأن الإتحادات الجديدة تحدث بين الجينات عن طريق العبور الكروموسومى ولا تحدث
داخل الجين نفسه، لكن البحوث الحديثة أثبتت أن الإتحادات الجديدة داخل الجين نفسه.

مفهوم الجين من الناحية الكلاسيكية : المفهوم الكلاسيكى (المونجى أو التقليدى) للجين
هو أنه الوحدة الأساسية التى يتم عن طريقها توارث الصفات ويتميز بثلاث خصائص :- ١- خصائص
مسيولوجية ٢- خصائص الإتحادات الجديدة ٣- خصائص الطفر. وبالتالى فإنه يمكن إعتبار الجين
وحدة وظيفية وأخرى تركيبية. فمن الناحية الوظيفية فهو يستمر وحدة المادة الوراثية التى تحكم فى
توارث صفة معينة من الصفات (أو شكل مظهرى معين). أما من الناحية التركيبية فقد صرف سابقا
على أنه وحدة التوارث التى لا تتجزأ فى صلية الإتحادات الجديدة (أى يبقى ترتيب القواعد وعددها كما
هو ولا يتجزأ عند عمل إتحادات جديدة). وإذا فالنظرية الكلاسيكية تعرف للجين أساسا على أنه وحدة
التوارث التى لا تتجزأ.

المفهوم الحالي (الحديث) للجين : حالياً يتم تحديد الجين وتفسيره على أساس الوظيفة التي يؤديها ومثالاً لذلك فأى إنزيم يحدد تركيبه الكلى مقطع معين فى الـ DNA وبالتالي فهذا المقطع يسمى الجين وهذه النظرية تسمى One gene one enzyme. وبالتالي فهذه النظرية اعتبرت أن الجين هو مقطع واحد معين من الحمض النووى DNA. ولكن يؤخذ على هذه النظرية أن هناك بعض الإنزيمات يكون المسؤول عن تخليقها مقطعين من الحمض النووى DNA. ومثالاً لذلك أنه عند دراسة إنزيم تخليق الحمض الأمينى للثريوتوفان وجد أنه يتكون من سلسلتين بروتينيتين مختلفتين التركيب عن بعضهما وكل سلسلة من السلسلتين مسؤول عنها مقطع معين من الحمض النووى DNA ولهذا السبب تم تعديل النظرية السابقة (جين لكل إنزيم One gene one enzyme) حيث يتكون الجين الواحد من أكثر من الوحدات الصغيرة (مقطع صغيرة فى الـ DNA) وتسمى هذه الوحدات بالمسترونز وبالتالي فتمعرف وحدة المسترونز بأنها أصغر عدد من القواعد الأروية يمكن أن تؤدي وظيفة معينة. وبما أن وحدة الطغور هي أصغر عدد من القواعد الأروية يمكن أن تحدث به طفرة. إذاً يمكن تعريف الجين على أنه وحدة النشاط الفسيولوجى وأيضاً وحدة الإحداثيات الجينية أو الوحدة النهائية للطفور.

الأجسام المضادة Antibodies

تتكون الأجسام المضادة فى جسم الإنسان والثدييات والحيوان عموماً كنتيجة لآلية دفاعية تسمى الإستجابة للمناعة Immune response. وتنشأ هذه الإستجابة للمناعة كنتيجة لوصول مواد غريبة تسمى أنتيجينات Antigens إلى مجرى الدم (الأنتيجين Antigen هو مواد الجسم المضاد أى مادة تنشأ عند حقنها فى الجسم أجسام مضادة لها ومن أمثلته الأنتيجين الغالب البروتينى للفيروسات والهرمونات....الخ). والأجسام المضادة Antibodies عبارة عن مجموعة هامة جداً من البروتينات ترتبط بالأنتيجين بتخصص دقيق جداً مما يسهل إستيعاده من الدم. والشئ المعمول للإستجابة للمناعة هو القدرة على إنتاج العدد اللانهائى والمتنوع من الأجسام المضادة الذى يستطيع الحيوان أن يخلقه كرد فعل أو كإستجابة مناعية لوجود أنتيجينات معينة فى دمه على الرغم من أنه لم يسبق له التعرف عليها.

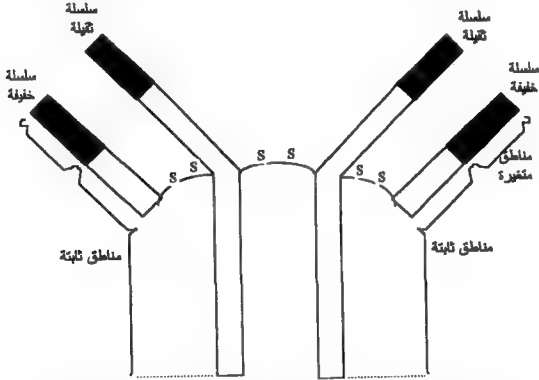
المحتوى الوراثى للفرد وكيفية تحكمه فى تركيب الأجسام المضادة : هناك عدد كبير جداً يترى بالملايين من الأجسام الغريبة (الأنتيجينات) التى يمكن أن تغزو الجسم وتصل إلى مجرى الدم، وبالتالي لابد أن يكون هناك آلية يختزن بها الكائن الحي المعلومات الوراثية الكافية لتكوين سلاسل (كسلاسل) الأحماض الأمينية المطلوب توليدها فى هذا الكم الهائل لأنواع الأجسام المضادة اللازمة لمواجهة هذا العدد الكبير من الأنتيجينات (لاحظ أنه لكل أنتيجين جسم مضاد

متخصص بدقة له). ويذهب أن الجسم الغريب الذي يغزو الجسم لا يعرفه الكائن من قبل وبالتالي فكيف يختزن له جسم مضاد بالإضافة إلى أنه كيف يمكن للكائن الحي أن يختزن المعلومات الوراثية الكافية لتتابعات الأحماض الأمينية اللازم تواجدها في عدد يقدر بعديد من الملايين من أنواع الأجسام المضادة هذه. نعد الأجسام المضادة التي يمكن أن ينتجها الإنسان أو الحيوان عموماً بالرغم من أنه غير معروف حتى الآن إلا أنه يقدر بالملايين، وبالتالي فهناك تناقض بين المحتوى الوراثي للفرد وعدد الأجسام المضادة التي ينتجها. فالمحتوى الوراثي للفرد لا يمكن أن يفي بهذا الكم الهائل من الأجسام المضادة Antibodies فعلى حد علمنا أن عدد كبير من الجينات يشفر لعدد كبير من جزيئات RNA والإنزيمات والهرمونات والبروتينات التركيبية. كما أن الكثير من الجينات تحسّو على إلكترونات (مناطق لغو) ملوثة غير مشفرة (الإنترون Extron عبارة عن تتابع من القواعد موجودة في الحمض النووي DNA وهذا التتابع غير مشفر)، وبالتالي فكيف يمكن إذاً أن تتواجد المعلومات الوراثية اللازمة لهذا الكم الهائل من الأجسام المضادة المتنوعة. ولتفسير ذلك فقد اقترح علماء الوراثة ثلاثة إفتراضات لتفسير الأساس الوراثي لإختلاف الأجسام المضادة هي :

- ١- فرض النسيج التوالدي : وفي هذا الفرض يقترح العلماء أن هناك جين توالدي مستقل لكل جسم مضاد، وهذا الفرض يتفق مع المعلومات الوراثية بالنسبة لبناء البروتين لكنه يتناقض مع حقيقة عدم وجود كمية كافية من الـ DNA لإنتاج هذا العدد الهائل من الأجسام المضادة.
- ٢- فرض الطفرة الجسمية : ويقترح العلماء في هذا الفرض أن هناك جين واحد أو عدة جينات في النسيج التوالدي تشفر لكل قسم رئيسي من أقسام الأجسام المضادة ثم تحدث في الخلايا الجسمية المنتجة للأجسام المضادة طفرات بتكرار عالي جداً مما ينتج عنه تنوع الأجسام المضادة في كل قسم رئيسي من أقسام الأجسام المضادة. ويؤخذ على هذا الفرض أنه لم يثبت حتى الآن أن هناك تكرار عالي جداً من الطفرات يحدث في جينات أنواع أو طرز معينة من الخلايا الجسمية، بالإضافة إلى أنه لم يثبت أو يعرف حتى الآن كيفية تنظيم حدوث مثل هذه الطفرات.
- ٣- فرض الجينات الصغيرة : ويقترح في هذا الفرض أن هناك إتحادات جديدة تحدث في جينات الخلايا الجسمية وليست الخلايا الجنسية ينشأ عنها إنتاج هذا الكم الهائل من الأجسام المضادة. وبكلمات أخرى إلى إعادة تركيب العديد من المقطع الصغيرة في عدد محدود من جينات الخلايا الجسمية يؤدي إلى وجود تبادل وتوافق كثيرة ومتنوعة والتي عندما تشفر تكون هذا الكم الهائل من الأجسام المضادة المختلفة ونكرر أنه جدر الإشارة هنا أن هذه الإتحادات الجديدة تحدث في المقاطع الصغيرة لعدد محدود من الجينات داخل الخلايا الجسمية وليست في الخلايا الجنسية

(الجامبوتات) وبالتالي فهي تختلف عن حالات الجور الكروموسومي الذي يحدث ضد تكوين الجامبوتات.

والجسم المضاد عبارة عن Tetramer حيث يتكون من أربع سلاسل من عديدات الببتيد (هذه الأربع سلاسل عبارة عن سلسلتين خفيفتين متماثلتين طولها ٢٢٠ حمض أميني وسلسلتين ثقيلتين متماثلتين طولها من ٤٤٠-٤٥٠ حمض أميني) وترتبط هذه السلاسل مع بعضها بروابط ثنائية الكبريت (شكل ٧-١٢) ولكل سلسلة من الأربعة سلاسل منطقة طرفية متفجرة يبلغ طولها حوالي ١١٠ حمض أميني يحدث فيها تغير تتابع الأحماض الأمينية كنتيجة لترتيب تتابع الأحماض الأمينية في السلسلة ١١٠ حمض أميني هؤلاء يحدث تخصص الجسم المضاد للأنجيبيات المختلفة. كما يوجد منطقة كربوكسيلية طرفية ثابتة يشابه دخلها تتابع الأحماض الأمينية لكل الأجسام المضادة في جلوبولين مناعي معين Ig بصرف النظر عن تخصص هذا الجسم المضاد في الارتباط بالأنجيبيات (شكل ٧-١٢).



شكل (٧-١٢) : ديجرام يوضح تركيب الجسم المضاد الذي يتكون من أربع سلاسل ببتيدية (سلسلتين خفيفتين متماثلتين وسلسلتين ثقيلتين متماثلتين) والأربع سلاسل بهم مناطق طرفية (متفجرة ترى باللون ■ الدكن) ومناطق ثابتة (تري باللون □ الفاتح)

والمنطقة الثابتة للسلسلة الثقيلة في الجسم المضاد هي التي تحدد القسم الذي ينتمي إليه أي جسم مضاد وبالتالي وظيفته. وهناك خمسة أصنام من الأجسام المضادة هي IgD & IgG & IgE & IgA

IgM & وبالتالي فالتناقض بين هذه الأقسام الخمسة السابقة هو تركيب المنطقة الثابتة للسلسلة الثقيلة (أى تركيب الموقع الوظيفي المستجيب).

أسس الوراثة للمندلية Principles Of Mendelian Genetics :

علمنا مما سبق أن شكلنا المظهري Phenotype يأتي كنتيجة لجينات محمولة على الكروموسوم هذه الجينات تنقسم أثناء الانقسام الميوزي لتكوين جاميطات ، هذه الجاميطات تحمل بداخلها الجينات وهي الصفات الوراثية التي تنقلها هذه الجينات من الآباء إلى الأبناء.

وقد بدأ علم الوراثة مع مؤسس علم الوراثة العالم جريجور مندل (١٨٢١-١٨٦٥) الذي كان يدرس في حديقته في شرق أوروبا. حيث وضع حجر الأساس لعلم الوراثة عن طريق وضع قوانين عامة ومحددة لعلم الوراثة. فبعد عدة تجارب أولية وقع إختياره على نبات البسلة (البازلاء) حيث لاحظ (بختلاف) كبيراً بينها ببعضها طويل وبعضها قصير والبعض له بذور ملساء والبعض الآخر له بذور مجعدة كما أن ألوانها تتراوح ما بين أصفر وأخضر... الخ وأنت تجاربه الطويلة النهائية إلى وضع قانونين هامين هما :

١- قانون انفصال الصفات Low of Segregation

٢- قانون التوزيع الحر Low of Independant Assortment

اكتشف مندل أن الصفات التي كان يدرسها لا تختلط ببعضها :

Mendel discovered that the traits he was studing did not blend :

أول اكتشاف لمندل بعد التحليل الوراثي لنبات البازلاء (البسلة) وجد أن الصفات الطبيعية للآباء لا تختلط لتنتج أبناء وسط في صفاتها فعندما لقح نبات بازلاء أبيض الزهرة مع نبات بازلاء أرجواني الزهرة لم يحصل على أي نتيجة وسطية وهي أن يكون لون الزهرة زهري (الوسط بين الأبيض). ولكنه حصل على نباتات لها لون أرجواني. وبالتالي فإن صفة اللون الأبيض لم تختلط مع صفة اللون الأرجواني لتكوين وسط بين الصفتين في النسل الناتج.

اكتشف مندل أن الآباء تشترك بالتساوي في الصفات الناتجة في أبنائهم:

Mendel Discovered That The Parents Contributed Equally To The Characteristics Of Their Off Spring :

بحوث مندل جعلته يستنتج أن النباتات الكاملة النمو تحتوي على زوج من العوامل الوراثية لكل صفة (صفة اللون مثلاً) وكل زوج من هذه الأزواج يمثل صفة من الصفات ويطلق عليها الآن الجينات وهي عبارة عن الحامض النووي DNA الذي يكون الكروموسوم.

القانون الأول لمندل : قانون إعرال الجينات *Law of gene segregation*

Or Principle of segregation : أزواج العوامل الوراثية في الآباء أو الأمهات تنفصل

بعضها عند تكوين الجاميطات، وبالتالي فكل جاميطة تحتوي على عامل واحد من العوامل الوراثية وعند اتحاد الجاميطات يتكون الزيجوت الذي يوجد به زوج للعوامل الوراثية. ومثال ذلك :

نبات بازلاء قصير		×	نبات بازلاء طويل أصيل	
tt			TT	Pure parents
t		×	T	الجاميطات
كله طويل خليط			Tt	الجيل الأول

وهذا يعنى أن صفة الطول مائدة على صفة القصر أى أن جين الطول T مائد Dominant وجين القصر t متخفى Recessive. وعند تلقيح أفراد الجيل الأول مع بعضها البعض تظهر نسبة ٣ : ١ فى الشكل المظهري

الآباء	Tt	×	Tt	(كلها طويل خليط)
الجاميطات	T		t	

	T	t	Punnett Square
T	TT طويل	Tt طويل	
t	Tt طويل	tt قصير	

نسب التراكيب الوراثية أو
توزيع التراكيب الوراثية
Gentotype Frequency

TT : Tt : tt
1 : 2 : 1

توزيع الشكل المظهري أو
نسب الشكل المظهري
Phenotype frequency

قصير نقى : طويل خليط : طويل نقى
tt : Tt : TT
1 : 2 : 1
قصير : طويل
1 : 3

وتفسر النتائج السابقة بافتراض أن خلايا الجاميطات للنوع الطويل تحتوي على عامل الطول
(هذا العامل يجعل الثبات طويلا ويعرف بالجين Gene أو الأليل Alel). كما يحمل النبات القصير
عامل متنحي (جين القصر) وبالتالي فالأفراد الجيل الأول تحتوي على كلا العاملين (الهيجين) ويتركه
لأحد الأبوين جين الطول كما يتركه الأب الآخر جين القصر وحيث أن أفراد الجيل الأول كلها طويلة
فذلك يوضح أن جين الطول هو الجين المائد Dominant وأن جين القصر هو الجين المتنحي
Recessive. وقد أتفق العلماء على الإستدلال على الأليل المائد بحرف كبير والأليل المتنحي بالحرف
الصغير المقابل وفي الحالة السابقة فإن حرف (T) يدل على صفة الطول وحرف (t) يدل على صفة
القصر.

الـ **Genotype** هو التركيب الوراثي للفرد والـ **Phenotype** هو شكله المظهري نرى
للمثال السابق نجد أن نسبة طويل : قصير (٣ : ١) المتحصل عليها في الجيل الثاني أثبتت من السادة
قائمة الجين T على أليله t وبالتالي فنوزع التركيب الوراثي Genotype تكون

TT	Tt	tt
1	2	1

أما توزيع الشكل المظهري فيكون ٣ طويل وهي (TT 1 + Tt 2) وواحد قصير وهو tt.
والفرد TT يطلق عليه Homozygous dominant أصيل مائد والفرد tt يطلق عليه
Homozygous recessive أصيل متنحي. والفرد Tt يطلق عليه Heterozygous خليط.

ويمكن تكدير نسب التركيب الوراثية Genotype ونسب الشكل المظهري Phenotype من
مربع Punnett ومثالا لذلك : الجين S يسبب السطح الأملس لحيوب البازلاء وهو مائد على أليله s
الذي يسبب السطح المجدد

SS	x	ss	الأباء
أملس		مجدد	
S		s	الجاميطات

	S	S	F1
s	Ss	Ss	الجيل الأول كله
s	Ss	Ss	أملس خليط Ss

Ss × Ss الأباء

S s الجامهات

F2 الجيل الثانى

	S	s
S	SS	Ss
s	Ss	ss

الشكل المظهرى

التركيب الوراثى

أملس ١	}	٣	SS ١
أملس ٢			Ss ٢
مجعد ١			ss ١

وهذا نسبة التراكيب الوراثية ١ SS : ٢ Ss : ١ ss بينما نسب للشكل المظهرى ٣ أملس :

١ مجعد هذا بالنسبة لتكاون مندل الأول وهو تزاوج الهجن الأحادية Monohybrid cross أما قانون مندل الثانى فيتناول زوجين Dihybrid أو أكثر من الأليات.

قانون مندل الثانى : قانون التوزيع الحر Principle of independent assortment :

ومنهمو هذا القانون أن كل زوج من الأليات يتوزع مستقلا كما لو كانت الأليات الأخرى غير موجودة (بصرف النظر عن بقية الأليات الأخرى) بحيث أن نسب التوزيع بالنسبة لكل أزواج الصفات المقصوده يمكن إحصائها بربطها بنسب التوزيع الفردى.

هذا وينطبق قانون التوزيع الحر فقط على الجينات التى تقع على أزواج مختلفة من الكروموسومات ومثالاً لذلك للون الأصفر Y سائد سيادة تامة على اللون الأخضر y والسطح الأملس S سائد سيادة تامة على السطح للمجعد s فى البازلاء فلو كان الأباء.

الشكل المظهرى	أملس أصفر أصيل	أخضر مجعد أصيل
التركيب الوراثى	SSYY	ssyy
أباء		

الجاميطات	SY	x	sy
للجيل الأول F1	SsYy		
	كله لملس أصفر خاديط		
	فلو تزواج أفراد للجيل الأول مع بعضهم		
الآباء	SsYs	x	SsYy
الجاميطات	SY Sy sY sy	x	SY Sy sY sy

وهذه هي نسب للتوزيع الجاميطى التى يارزها الآباء تبعاً للقانون التالى لمندل، أما نسب توزيع التراكيب الوراثية وللشكل المظهري فيبينها المربع التالى

الجيل التالى F2

	SY	Sy	sY	sy
SY	SSYY	SSYy	SsYY	SsYy
Sy	SSYy	SSyy	SsYy	Ssyy
sY	SsYY	SsYy	ssYY	ssYy
sy	SsYy	Ssyy	ssYy	ssyy

الشكل المظهري

التراكيب الوراثي

أصفر أملس	SSYY	١
أصفر أملس	SSYy	٢
أصفر أملس	SsYy	٤
أصفر أملس	SsYY	٢
أخضر أملس	SSyy	١
أخضر أملس	Ssyy	٢
أخضر مجعد	ssyy	١
أصفر مجعد	ssYy	١
أصفر مجعد	ssYY	١

نسب توزيع الشكل المظهري Phenotype ratio

أصفر أملس	:	أخضر أملس	:	أصفر مجعد	:	أخضر مجعد
٩	:	٣	:	٣	:	١

آثار (تعبيرات) الجين : هناك أربعة حالات يمر فيها للجين من نفسه كعلاقة بالآلة الأخرى أو بموقع آخر على نفس الكروموسوم.

١- **التعبير السيادة Dominance Effect :** وهنا أثر الجين (ما أن يكون مغايد سيادة تامة على أليله المتحى وبالتالي لا يظهر أى أثر للأليل المتحى فالفردين AA & Aa يكون لهما نفس الشكل المظهري أو أن يكون الجين مغايد سيادة غير تامة أو غير كاملة على أليله المتحى ونفس هذه الحالة يكون الفرد الخليط قريب الشبه جداً فى الشكل المظهري لهذه الصفة من الفرد AA ولكنه لا يشابهه تماماً (أى تكون درجة شكله المظهري أكبر من متوسط الشكل المظهري للفردين aa & AA) وبالتالي فالسيادة الغير تامة تسبب صفات وسط وهي نوع من أنواع دمج الصفات.

٢- **التعبير التجمعي Additive Effect :** وفى هذه الحالة فإن كل جين يلقى أثره بصرف النظر عن الجين الآخر أو التركيب الوراثي للفرد، ومثالاً لذلك صفة اللون فى حيوان شورت-هورن للحم (نوع من الأبقار) فالفردين WW لونه أبيض والفردين ww لونه أحمر والفردين Ww لونه طوى (واللون الطوى يقا من شعره بياض وأخرى حمراء). وبالتالي فالجين W يظهر شعره لونها أبيض بصرف النظر عن أليله الآخر أو التركيب الوراثي للفرد بالمثل الجين w فهو يظهر شعره لونها أحمر.

٣- **الأثر التلوي Epistatic Effect :** وفى هذه الحالة فإن الجين يتفوق على جين آخر مخالف له فى الموقع على نفس الكروموسوم.

٤- **حالات فوق السيادة Over dominance :** وفى هذه الحالة يكون للفرد الخليط (Aa) أعلا فى شكله المظهري من كلا الفردين الأسيلين (AA & aa) وتسمى أيضاً بقوة الهجين.

الوراثة المندلية في الإنسان

Mendelian Genetics In Humans

هناك بعض الصفات والأمراض في الإنسان تطبق عليها قوانين الوراثة المندلية التي اكتشفها مندل على نبات البسلة (البازلاء).

فالخلية الجنسية في الإنسان تحتوي على ٢٣ زوج من الكروموسومات وهي عبارة عن زوج واحد من الكروموسومات الجنسية Sex chromosomes و٢٢ زوج من الـ Autosomes وهذه الإكثين وحشرون زوج من الكروموسومات (Autosomes) تحتوي على العديد من الجينات وبالتالي فهي تتحكم في العديد من الصفات، أما كروموسومات الجنس فيوجد منها نوعان هما : كروموسوم X وكروموسوم Y. والفرد الذي تركيبه XX يكون أنثى والفرد الذي تركيبه XY يكون ذكر.

والجينات المسببة للأمراض الوراثية في الإنسان غالباً ما تكون متنحية لذلك لا يظهر المرض عند الإنسان إلا عندما يكون زوج الأليلات المتنحية موجود بصفة أصيلة. والمعروف الآن من الـ Autosomal recessive traits حوالي ١٤٠٠ صفة وبعضها يكون سبباً للشذوذ Abnormalities ومنها الألبينو Albinism ومرض Cystic fibrosis .

الألبينو Albinism : ويسمى الشخص الحامل لهذه الصفة أيضاً بعدو الشمس (حيث يكون غير قادر على مواجهة أشعة الشمس). وهذه الصفة عبارة عن عدم وجود صبغة الميلانين فسي كلاً من الجلد والشعر والعين ويؤثر عليها زوج واحد من الأليلات المتنحية. ولذلك فيمكن أن يكون الأب والأم خليط لهذه الصفة ولا يظهر الشكل المظهري لهما، لكن تظهر صفة الألبينو هذه في نسلهما كنتيجة لإحتواء الفرد على زوج الأليلات المتنحية بصفة أصيلة والتي لاكتسب كل واحدة منها من كلا من الأم والأب. وتختلف نسبة حدوث هذه الصفة في المناطق المختلفة حيث تتراوح نسبة حدوثها من ١ : ٢٠٠٠ إلى ١ : ٤٠٠٠. والجينات المتنحية المسببة لهذه الصفة عندما توجد بصفة أصيلة تسبب نقص في صليات بناء وتخليق صبغة الميلانين Melanin (صبغة الميلانين لونهما ما بين البني والأسود وهي ضرورية لتلوين الشعر والجلد والعين). هذا ويختلف لون البشرة في الإنسان كنتيجة لوجود نسب متفاوتة من الصبغة في الجلد (كلما ازدادت نسبة وجود الصبغة كلما كان اللون داكن بدرجة أكبر).

وتتكون صبغة الميلانين كنتيجة لنشاط إنزيمي ووجود هذان الأليلان المتنحيان يسببان وقت هذا النشاط الإنزيمي. وبالتالي يزول لون الجلد. ووجود صبغة الميلانين في جلد الإنسان تسبب حمايته من أشعة الشمس للوقاية بنفسجية. ولذلك فعند وجود صبغة الميلانين في الشخص الألبينو تجعل

عرضة للإصابة بسرطان الجلد. كما أن عدم وجود الصبغة بالعين يمكن أن تسبب تلف للجزء الضوئي الحساس من العين والشبكية Retina وهذه العوامل كلها يمكن أن تؤدي إلى فقد البصر Blindness .

Cystic Fibrosis : هو مرض يسببه جين متنحى Autosomal recessive disease والذي يسبب الوفاة مبكراً. ويسبب هذا المرض وجود الأليلين المتنحيين في الفرد. ويسبب هذا المرض تغير في وظائف الغدة للعرقية في الجلد والغدد المخاطية Mucous glands في الجهاز التنفسي Respiratory system والبنكرياس Pancreas والخلل في إفراز الغدة العرقية يسبب إفراز كميات كبيرة من الأملاح الأمر الذي يساعد الأطباء على إكتشاف المرض لكن أهم عرض معنوي يحدث في البنكرياس والرفة. وهذا المرض يسبب إسداد القناة الموصلة للإزيمات الهاضمة من البنكرياس إلى الأمعاء الدقيقة وهذه لا تعيق الهضم فقط لكن تسبب أيضاً وجود تكيسات (حويصلات) في نسيج البنكرياس كنتيجة لعدم مرور الإنزيمات الهاضمة للقناة الهضمية فهي تبقى في البنكرياس وتسبب وجود هذه التكيسات وبالتالي يضمحل نسيج البنكرياس ويحل محله نسيج ضام. ولذلك يتميز المريض بحالة سوء التغذية. ولتحسين الهضم في هؤلاء المرضى يجب أن يتناولوا البروتينات في صورة بودرة (مسحوق) كما يجب إعطائهم حبيبات مستخلص البنكرياس لحيوانات أخرى والتي تحتوي على إنزيمات هاضمة كما يجب إعطائهم كميات كبيرة من الفيتامينات والمواد الغذائية (شكل ٧-١٣).



ب



ا

شكل (٧-١٣) : البنكرياس في مرضى Cystic fibrosis (الشكل ا) وقطاع في بنكرياس عادي (الشكل ب).

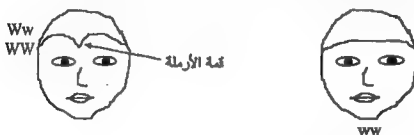
أما بالنسبة للجهاز التنفسي فهذا المرض يسبب إنتاج كميات كبيرة من المخاط Mucous وهذا المخاط يعيق عملية مرور الهواء وبالتالي يجعل التنفس صعب والمرضى هنا يجب أن يعالجوا عدة مرات في اليوم لإزالة هذا المخاط.

الصفات السائدة تظهر في الشخص الأصل السائد والشخص الخليط :

Autosomal Dominant Traits Are Expressed In Heterozygous And Homozygous-Dominant Individuals :

هناك العديد من الصفات في الإنسان تعتبر صفات سائدة وهي محمولة على الـ Autosomes (الـ ٢٢ كروموسوم خلاف كروموسوم الجنس) وتظهر هذه الصفات في الشخص الأصل لهذه الصفة Homozygous والخليط لها أيضا Heterozygous. وحاليا يعرف حوالي ١٢٠٠ صفة سائدة في الإنسان وحوالي ١٠٠٠ صفة جاري معرفتهم وسوف نناقش نوعين من هذه الصفات السائدة Autosomal dominant disease وهي ١- قمة الأرملة Widow's Peak -٢- مرض Achondroplasia.

١- قمة الأرملة Widow's Peak : هي صفة تزول شعر الرأس إلى أسفل الجبهة حيث يشكل حافة أو قمة في مركز جبهة الرأس وهي صفة وراثية تقع تحت تأثير جين سائد W على الجين المقابل المتكحي w لقمة الأرملة. فالأفراد ذات التركيب الوراثي ww يكون لهم خط شعر مستقيم لقمة الأرملة (شكل ٧-١٤) أما الأفراد ذات التركيب الوراثي WW، Ww يكون لهم خط شعر منحدر لأسفل الجبهة حيث يشكل حافة أو قمة في مركز جبهة الرأس (قمة الأرملة).



شكل (٧-١٤) : الشكل يوضح قمة الأرملة

٢- مرض Achondroplasia : ويتميز المرض في هذا المرض بقصر عظام الأرجل واليدين ولذلك فهو يعتبر نموذج من نماذج مرض التقزم Dwarfism (مرض التقزم ينشأ عن نقص لإراز

هرمون النمو Growth hormone وفي بعض الأحيان عن نقص إفراز هرمونات الغدة الدرقية (Thyroid gland). والمرضى بهذا المرض يكون له ظهر طبعي لكنه لا ينمو أكثر من ١٢٠سم من الطول. وهذه الحالة تحدث كنتيجة لأثر Autosomal dominant gene وتحدث بمعدلات ضئيلة ١ : ١٠,٠٠٠. وأغلب هذه الحالات تنتج بسبب طفرة ذاتية حيث أن معظم الأطفال المصابين بهذه الحالة يكونوا لأباء عادييين وطالما أن الجين المورث هنا سائد فلا يمكن تفسير حدوث هذا الحالة لطفل من أباء عادييين إلا كنتيجة لطفرة ذاتية حدثت في الشخص نفسه بعد الولادة وليس قبلها.

أنيميا الكريات المنجلية (الشكل المنجلي لكريات الدم الحمراء) :

Sickle-Cell Anemia :

هذا المرض ينتج عن خلل في تخليق هيموجلوبين كريات الدم الحمراء (هيموجلوبين كريات الدم الحمراء هو بروتين من سلسلة طويلة من الأحماض الأمينية). وينتج في هذا المرض هيموجلوبين غير عادي يختلف عن الهيموجلوبين الطبيعي في أن الحمض الأميني فالين Valine يحل محل حمض الجلوتاميك Glutamic acid ولهذا فإن الأشخاص المصابين بهذا المرض تصيب عدهم بعض كريات الدم الحمراء هلالية أو منجلية الشكل بدلا من الشكل القرصي المقعر لكريات الدم الحمراء (شكل ٧-١٥) الطبيعية. وبالتالي تقل قدرة هذه الكريات على حمل الأكسجين وقد تعمل على سد الشعيرات الدموية مما يعوق وصول الدم وبالتالي الأكسجين إلى الأنسجة.



الشكل الطبيعي لكرة دم حمراء

الشكل المنجلي لكرة دم حمراء

شكل (٧-١٥) : ديجرام يوضح الشكل المنجلي والطبيعي لكريات الدم الحمراء وإذا كان الشخص المصاب يحمل زوج الأليلات الخاطئة لهذه الصفة (أي أن تركيبه الوراثي Heterozygous (Ss) بمعنى أنه يملك أليل لإنتاج هيموجلوبين طبيعي (يحتوي على حمض الجلوتاميك) وأليل آخر لإنتاج هيموجلوبين غير طبيعي (يحتوي على حمض فالين) فإن هذا الشخص يمرض إلى أنيميا منجلية غير حادة (معتدلة). أما إن كان الشخص المصاب بالمرض يحمل زوج الجينات بصفة أصيلة Homozygous فإنه يمرض لأنيميا حادة وبالتالي يكون معرض بدرجة أكبر لخطر الموت. وقد لوحظ أن الأشخاص المصابين بهذا المرض مقاومون لمرض الملاريا.

بعض الجينات لها أليلات متعددة Some genes have multiple alleles : هناك صفات

كثيرة تتكرر بزوج واحد من الأليلات ومن أمثلتها السبع صفات التي قام مندل بدراستها على نبات البازلاء (البسلة)، أما في الإنسان وبعض الحيوانات الأخرى فهناك جينات لها أكثر من أليلين أى متعددة الأليلات Multiple alleles ومن الصفات التي لها أكثر من أليلين هي مجموعات الدم في الإنسان Human Blood Groups فوراثة مجموعات الدم في الإنسان يؤثر فيها على الأقل ثلاثة جينات (ذلك يعنى أنه يوجد أكثر من نوعين من الأليلات المتقابلة لصفات تورث مجموعات الدم). لكن الفرد يحتوى على أليلين فقط في نفس الوقت على الموقعين في الكروموسومات المتماثلة (حيث يكتسب الفرد أليل من الأب وأليل لآخر من الأم) والثلاثة أليلات المعروفة لمجموع الدم في الإنسان هي I^A ، I^B ، I^O .

وكما ذكرنا من قبل لدخول أى مادة بروتينية Antigen إلى الدورة الدموية بنبه الجهاز المناعى لتكوين أجسام مضادة Antibodies في بلازما الدم Blood plasma. وفي حالة وجود الأجسام المضادة مع الأنتيجين الموجود في كريات الدم الحمراء فإن ذلك يسبب تجمع أو تلاحق Agglutination لكريات الدم وبالتالي يسبب خلع أو إسداد الشعيرات والأوعية الدموية وبالتالي للتعرض لخطر الموت.

وهناك نوعان رئيسيان من الأنتيجينات توجد في دم الإنسان هما : ١- الأنتيجين A ويسببه الأليل I^A -٢- والأنتيجين B ويسببه I^B . وهذه الأنتيجينات قد توجد منفردة أو مجتمعة أو لا توجد إطلاقاً. وبناءً على هذه المعلومات فقد قسم العالم لانستينر Landesteiner مجموعات دم الإنسان حسب نوع الأنتيجين الموجود أو غيابه إلى أربع مجموعات كما هو موضح بالجدول (٧-١). هذا ويجب معرفة أن أى من الجين I^A أو الجين I^B سائد سيادة تامة على الجين I^O والمسؤول عن غياب الأنتيجين O. بينما هناك حالة سيادة مشتركة Codominance بين الجين I^A والجين I^B (أى أن الجين I^A يظهر مظهره الشكلي كاملاً - بلقى أثره الوراثي كاملاً - في وجود الجين السائد الآخر I^B والعكس صحيح فالجين I^B بلقى أثره الوراثي كاملاً في وجود الجين السائد الآخر I^A). وعموماً فوراثة مجموعات الدم في الإنسان تتفق مع قوانين مندل الوراثة مع ملاحظة حالة السيادة المشتركة بين I^A ، I^B وأن كلا الجينين سائد على الجين I^O .

جدول (٧-١) : جدول يوضح التركيب الوراثي لمجموعات الدم المختلفة فى الإنسان والأنثيين الموجود بكريات الدم أحمرء والأجسام المضادة الموجودة فى بلازما الدم.

النسجين كريات الدم الحمراء	مجموعة الدم	التركيب الوراثي	الأجسام المضادة فى بلازما الدم	يأخذ من	يعطى إلى
A	A	$I^A I^A$ & $I^A I^O$	Anti-B	A, O	A, AB
B	B	$I^B I^B$ & $I^B I^O$	Anti-A	B, O	B, AB
AB	AB	$I^A I^B$	لا يوجد	A, B, AB, O	AB
O	O	$I^O I^O$	Anti-A & B	O	A, B, AB, O

هذا ويتضح من الجدول السابق (٧-١) ما يلى :
 ١- الفرد من مجموعة دم A يوجد فى
 بلازما دمه أجسام مضادة للأنثيين B - ٢- الفرد من مجموعة دم B يوجد فى بلازما دمه أجسام مضادة للأنثيين A - ٣- الفرد من مجموعة دم AB لا يوجد فى دمه أى نوع من الأجسام المضادة سواء للأنثيين A أو للأنثيين B - ٤- الفرد من مجموعة دم O يوجد فى بلازما دمه أجسام مضادة لكلا من الأنثيين A والأنثيين B.

وهنا يجدر الإشارة إلى أن الشخص الذى يحمل أنثيين A فى كريات الدم الحمراء لو وجد فى بلازما دمه أجسام مضادة للأنثيين A فسوف يحدث تجمع وترسيب لخلايا الدم وبالتالي خطر الموت ولذلك ولأسباب لم يستكمل العلماء إيضاحها حتى الآن نجد أن بلازما دم أى فرد تحتوى على الأجسام المضادة للأنثيين الغير موجود فى خلايا كريات دمه الحمراء.

وراثية الصفات الكمية Quantitative Genetics :

بعض الصفات يتحكم فيها أكثر من زوج واحد من الأليلات مثل صفة لون الجلد فى الإنسان يتحكم فيها عدد ٨ أزواج من الأليلات وتسمى هذه الحالة بالـ Quantitative genetics or Polygenic inheritance والـ Polygenic inheritance تسبب تباين الشكل المظهري بدرجات متفاوتة بمعنى أننا نجد عديد من ألوان الجلد فى الإنسان ما بين اللون الأبيض والأسود حيث نستطيع أن نميز حوالى سبعة درجات متفاوتة للون الجلد (مع ملاحظة أن درجات لون الجلد فى الإنسان أكثر من هذا العدد لكن الذى يمكن تمييزه بالعين المجردة حوالى سبعة درجات). كنتيجة لتحكم الـ Polygenic inheritance .

ولإيضاح الاختلافات الواسعة التي تسببها وراثـة الصـفات لـكمية Polygenic inheritance في صفة مثل لون الجلد في الإنسان مثلاً يمكن أن نأخذ كمثال زوجين فقط من الأليلات وليست الثمانية أزواج للمتحمكين في هذه الصفة كلهم.

AABB		aabb	
أسود أصيل	x	أبيض أصيل	الأباء
	AaBb		الجيل الأول
	خمرى		
عدد الأليلات المتحركة			الجيل الثاني
صفر	AABB	أسود	
١	AABb	معتم	
١	AaBB	معتم	
٢	AaBb	خمرى	
٢	AAbb	خمرى	
٢	aaBB	خمرى	
٣	Aabb	فاتح	
٣	aaBb	فاتح	
٤	aabb	أبيض	

وصفة لون الجلد ليست فقط هي التي تتأثر بعدد كبير من أزواج الأليلات ولكن هناك صفة الطول والوزن والذكاء.... إلخ كلها صفات تتأثر بأكثر من زوج واحد من الأليلات. وهذه الصفات لا تتأثر فقط بالوراثة ولكنها تتأثر أيضا بالبيئة ويتفاعل بين البيئة والوراثة.

الشكل المظهري = الأثر الوراثي + الأثر البيئي + تفاعل البيئة مع الوراثة
والمعاملة هنا تبين أن الشكل المظهري هو محصلة التركيب الوراثي للفرد + أثر البيئة التي يعيش فيها مثل نوع الغذاء وكميته.... إلخ ثم تدخل أو تتفاعل البيئة مع وراثته بمعنى لو كان هناك فرد يحتوى على جينات كثافة تحويل الغذاء ولا يوجد غذاء بالبيئة وآخر يحتوى على جينات نقص تحويل الغذاء ويوجد غذاء كثير فهنا وزن الجسم سوف يكون محصلة لكل هذه التداخلات.

جينات نقص كثافة تحويل الغذاء	جينات كثافة تحويل الغذاء
جينات فتح الشهية	أكثرهم وزناً
جينات إسداد الشهية	متوسط الوزن

الجينات الموجودة على نفس الكروموسوم تعتبر مرتبطة :

Genes Located On The Same Chromosome Are Said To Be Linked :

كما ذكرنا من قبل قد وجد مندل أن اقتران جينات السبعة صفات التي قام بدراستها على نبات البازلاء انفصلت عن بعضها بدون أي ارتباط. كما ذكرنا أن الجينات التي على كروموسومات مختلفة تمزج من بعضها بدون ارتباط بينها وبين بعضها لكن هناك قاعدة أيضا وهي : إذا كانت الجينات على نفس الكروموسوم ويبلغها مسافة عبورية أقل من ٥٠ فإنهما يكونان مرتبطان ولا ينفصلان عن بعضهما البعض.

هذا ويوجد أكثر من ١٠٠,٠٠٠ جين على ٢٦ كروموسوم في الإنسان. والجينات التي على كروموسوم واحد تتنقل مرتبطة ببعضها ولتوضيح ذلك نورد المثال التالي :

الجين A سائد على أليله a

الجين B سائد على أليله b

ولو تزوج فردان

AABB × aabb

AB ab الجاميطات

AaBb F

ولو تزوج أفراد الجيل الأول مع بعضهما بفرض أنه ليس هناك ارتباط

AaBb × AaBb

الجاميطات AB Ab aB ab مثلها

الجيل الأول F₁

	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

هذا بالتراض عدم وجود ارتباط بين A & B أو b & a وتكون النسبة المظهرية ٩ : ٣ : ٣ : ١.

أما لو كان بين الأليلين A & B مسافة عبورية أقل من ٥٠ (المبور الكروموسومي يسمى Crossing over وقد ذكر من قبل عند التحدث عن الإنقسام) كان يكون الجين A مرتبط بالجين B أى أنهما على نفس الكروموسوم وبينهما مسافة عبورية أقل من ٥٠ (هذا الارتباط ارتباط موجب ومن الصعب تفسيره عن طريق المبور الكروموسومي) وبالمثل لو كان الجين a مرتبط بالجين b وبينهما مسافة عبورية أقل من ٥٠ فيكون إلتراض التقيح كما يلي

AABB	x	aabb	الآباء
AB		ab	الجاميطات
AaBb			F1
			الجاميطات
AB		ab	(مع ملاحظة وجود الارتباط)

	AB	ab	F2
AB	AABB	AaBb	Punnett squar
ab	AaBb	aabb	

التركيب الوراثي	الشكل المظهرى
١	٣
٢	
١	١
AABB	
AaBb	
aabb	

ويتضح من المثالين السابقين إختلاف نسب للتركيب الوراثية وبالتالي إختلاف نسب الشكل المظهرى كنتيجة لوجود للجينات مع بعضها على نفس الكروموسوم.

الجينات المرتبطة بالجنس Sex-linked Genes : كما ذكرنا أن التركيب الوراثى

للذكر هو XY والأُنثى XX. وتحديد الجنس يتم منذ لحظة إخصاب الحيوان المنوى للبويضة وتكوين الزيجوت. لما تميز الجنس فى الإنسان فلا يتم حتى الإسبوع السادس إلى الثامن تقريبا من عمر الجنين

حيث تكون الغدد الجنسية غير متميزة ومخطط لها أن تكون إناث. ولكن الجين x الموجود على كروموسوم Y في الذكر يسبب إراز عامل يسمى **H-Y Antigen** هذا العامل يسبب تمييز الغدد الجنسية في الجنين إلى خصيتين. وغياب هذا العامل (**H-Y Antigen**) يجعل الغدد الجنسية الغير متميزة تتميز إلى مبيضين بدون تأثير أى عوامل أخرى.

ويؤثر اختلاف زوج الكروموسومات الجنسية بين الذكر والأنثى في النقاط التالية :

- ١- بما أن كمية **DNA** الموجودة في كروموسوم Y أقل بكثير من تلك الموجودة في كروموسوم X ، لذا ينتج عن ذلك أن كروموسوم X يحمل مجموعة كاملة من الجينات كما أنها أكثر عدداً من تلك التي يحملها كروموسوم Y وبالتالي فالأنثى تعتبر أقوى وراثياً وفسيولوجياً وبيولوجياً من الذكر.
- ٢- هذا التفرق الوراثي للأنثى يمكنها من مقاومة عوامل الخطر والاختلافات البيئية بدرجة أكبر من الذكر.

٣- الأمراض الوراثية عموماً تكون الجينات المؤثرة عليها غالباً متحية وإذلك ففى أغلب الأحيان وجود جين متحى واحد على الكروموسوم X في الذكر يسبب ظهور المرض بينما يلزم لظهور المرض عند الأنثى وجود زوج الجينات للمتحية بصفة أصيلة وهذا يعطى زيادة لنسبة الإصابة بالأمراض الوراثية المرتبطة بالجنس في الذكور عن الإناث، وإذلك فالذكور تترث الأمراض الوراثية المرتبطة بالجنس عن طريق أمهاتها ويمكن في هذه الحالة ألا يظهر المرض الوراثي في الأم (كنتيجة لوجود جين واحد متحى) لكن يظهر في نسلها الناتج من الذكور.

كل الآثار السابقة وغيرها يوضع تحسين فرص الحياة للأنثى بالمقارنة بظهورها عند الرجل كما يفسر لنا بعض الظواهر التي نراها وهي أن المرأة أطول عمراً وأقل إصابة بالأمراض من الرجل كما يفسر لنا أيضاً قلة عدد الذكور بالنسبة للإناث في مجتمعات كثيرة.

ومثالاً للأمراض المرتبطة بالجنس ويؤثر عليها جين متحى هو :

مرض عمى الألوان **Color Blindness** : والمصاب بهذا المرض ليس له المقدرة على تمييز الألوان خاصة التمييز بين اللون الأحمر والأخضر. والقدرة على تمييز الألوان تحتاج إلى بناء صبغة معينة في العين وفي خلايا خاصة من شبكية العين.

وهذا المرض يسببه جين متحى مرتبط بالجنس لذا فنسبة ظهور هذا المرض في الذكور أعلا منها في الإناث ولإيضاح ذلك فالجين الذى يوجد تركيب الصبغة وبالتالي يمنع ظهور المرض هو جين **Sand C** أما الجين الذى يسبب ظهور المرض فهو جين **متحى c**. وكلا الجينين يقعان على كروموسوم X . فإذا وجد هذا الجين المتحى بصفة أصيلة في الإناث (**cc**) فإنه يسبب ظهور المرض بينما لو وجد بمفرده (**c**) في الذكور يسبب ظهور المرض. ولإيضاح ذلك نورد الأمثلة التالية:

في حالة أب سليم وأم عادية لكنهما حاملتا للجين المتنحي المسبب للمرض :

XY × XX^o الآباء
 ذكر سليم أنثى سليمة

X Y X^o X الجاميطات

	Y	X
X ^o	X ^o Y ذكر مصاب	X ^o X ^o أنثى عادية
X	XY أب سليم	XX أنثى عادية

التكاثر

في حالة أب مصاب وأم عادية لكنهما حاملتا للجين المتنحي المسبب للمرض :

X^oY × XX^o الآباء
 أب مصاب أم عادية

X^o Y X^o X الجاميطات

	Y	X ^o
X ^o	X ^o Y ذكر مصاب	X ^o X ^o أنثى مصابة
X	XY ذكر عادي	XX ^o أنثى عادية

التكاثر

في حالة أب مصاب وأم سليمة غير حاملتا للمرض :

X^oY × XX الآباء
 أب مصاب أم سليمة

X^o Y X X الجاميطات

	Y	X
X	XY ذكر عادي	XX أنثى عادية
X	XY ذكر عادي	XX أنثى عادية

التكاثر

في حالة أب سليم وأم مصابة بالمرض (حاملة للأليلين المتنحيين)

XY × XX
أب سليم أم مصابة

X Y X X الجاميطات

	Y	X
X	XY ذكر مصاب	XX أنثى عادية
X	XY ذكر مصاب	XX أنثى عادية

التكاثر

أما بالنسبة للصفات السائدة والمرتبطة بالجنس **Dominant X Linked Genes** فهي قليلة نسبياً ويكون في هذه الحالة الجين المرتبط بالجنس والمؤثر على هذه الصفة سائد ونسوق هذا المثال لأحد هذه الصفات وهو عدم المقدرة على ثني اللسان **Tongue Twisting or Rolling** وهي مقدرة للفرد على ثني لسانه طولياً على شكل حرف U ويسمى هذا المرض **Hypophosphatemia** ويصاحب هذا المرض أيضاً نقص مستوى فوسفات الدم وأنسجة أخرى في الجسم ومنها الأنسجة العظمية مما يسبب مرض الكساح أو لين العظام في الأطفال المصابين بهذا المرض (لاحظ أن مرض الكساح أو لين العظام **Rickets** ينتج أيضاً عن نقص الصورة القابلة للاستفادة من فيتامين D3 ٣٥ نتيجة لعدم تعرض الأطفال أو أخذتهم لفترات كافية من أشعة الشمس اللوحي بنفسجية). وبالتالي فإذا كان أب من الذكر أو الأم يحمل على كروموسوم X الجين المسبب لهذا المرض فيظهر عليه المرض دون الاحتياج للأليل الآخر كما هو موضح

XY x X¹X الآباء
أب عادي أم مصابة

X Y X X¹ الجاميطات

	Y	X
X	XY ذكر عادي	XX أنثى عادية
X ¹	X ¹ Y أب مصاب	X ¹ X أنثى مصابة

التلقيح

الجينات المرتبطة بالكروموسوم Y توجد فقط على الكروموسوم Y:

Y-Linked Genes Are Found Only On The Y Chromosome :

الجينات التي تحكم تميز الغدد الجنسية موجودة فقط على الكروموسوم Y فهي التي تسبب تميز الغدد الجنسية إلى خصية عن طريق إنتاج عامل يسمى **H-Y Antigen** وتسبب إنتاج الحيوانات المنوية وتظهر الصفات الجنسية الثانوية في الذكور بسبب الهرمونات المفرزة من الخصية واما أن هذه الجينات موجودة فقط على الكروموسوم Y فالأب يورثها لأبنائه الذكور وأيضا لأنها موجودة في صورة أول ولاد من كلا منها لأن الكروموسوم الآخر في الذكور هو X (XY) فوجودها بصورة مسائدة أو متحية تظهر أثرها.

الصفات المتأثرة بالجنس : The Action Of Some Genes Is Influenced By :

The Sex Of An Individual:

الجينات المتأثرة بالجنس Sex-influenced genes معناها أنها تظهر آثارها إذا وجدت بصفة خليلة Heterozygous في أحد الجنسين بينما لا تؤثر على الجنس الآخر ومن أمثلتها الجين المسبب للصلع Baldness في الإنسان.

hh x HH الآباء
أب أصلع أم بشعر
Hh + Hh الجيل الأول
ذكر أصلع أنثى بشعر

لو تم تلقيح الجيل الأول مع بعضه

	H h	H h	الجاميطات
	H h	HH	
H	Hh أنثى بشعر وذكر أصلع	HH أنثى بشعر وذكر بشعر	الجيل الثاني
h	hh أنثى صلعاء وذكر أصلع	Hh أنثى بشعر وذكر أصلع	

ويعتقد أن السبب في ذلك هو المستوى العالي من هرمون التستوسترون Testosterone في الذكور عنه في الإناث وبالتالي ففي الذكر يسود الجين h على أليله H وتظهر صفة الصلع، أما في الأنثى فيسود الجين H على الجين h وبالتالي لا تظهر صفة الصلع، أما لو وجد الجين المسبب للصلع h بصفة أصيلة Homozygous فإنه يسبب الصلع في كلا من الذكور والإناث.

حالات التشوّه الكروموسومي Chromosomal Abnormalities : في بعض

الأحيان لا تنفصل الكروموسومات الجنسية عن بعضها أثناء الإنقسام الإختزالي لتكوين الحيوان المنوي أو البويضة وبالتالي فعندما يلقح هذا الحيوان المنوي أو تلك البويضة خلية تناسلية أخرى ينتسج فرد يكون عدد الكروموسومات فيه إما 47 كروموسوم (عدد زائد) أو 45 كروموسوم (نقص عدد الكروموسومات) وهذه الحالات تسمى بعدم انفصال الكروموسومات الجنسية Non-disjunction of the sex-chromosomes مما يسبب أمراض للإنسان منها للتخلف العقلي وإضطراب للنواحي الجنسية (التناسلية) كما يؤثر على سلوكه الإنسان بوجه عام.

ويمكن عند تكوين الحيوانات المنوية ألا ينفصل الكروموسوم Y عن الكروموسوم X وبالتالي يظهر حيوان منوي يحمل XY ولآخر لا يحمل شيء (O). كما يمكن أيضا عند تكوين البويضات ألا ينفصل كروموسومي X عن بعضهما وبالتالي تظهر بويضة تحمل XX وأخرى لا تحمل شيء (O) وينتج عن هذه الحالات وحالات عدم انفصال الكروموسومات الجنسية الأمراض التالية :

١- مرض داون أو متلازمة داون (البلاهة المنغولية) : Down's Syndrome (Mongolism) :

هذا المرض ينتج بسبب عدم انفصال الكروموسومات في الزوج الحادي والعشرين أثناء الإنقسام الإختزالي وبالتالي فأحدى خلايا الجنسية يكون فيها الزوج ٢١ ممثلا بكروموسومين وليس بكروموسوم واحد، وعندما تلقح هذه الخلية خلية جنسية أخرى طبيعية يكون في الزيجوت الناتج الزوج الحادي والعشرين ممثلا بثلاث كروموسومات بدلا من اثنين وبالتالي يكون الفرد الناتج به 47

كروموسوم وليس العدد الطبيعي في الإنسان (٤٦ كروموسوم). والتفرد المصاب بهذه الحالة يكون مختلف عقليا، قصير القامة، بدين (صريض الجسم) وجهه متسع دلتري وجهته بارزة وأذنه مضغوط وقمه مفتوح وفكه نازل ولسانه كبير الحجم وثنيه جفنه تشبه ثنيه الجفن التي تميز عيون المنغوليين (شكل ٧-١٦). ولا يعرف أسباب هذا المرض بالضبط لكنه لوحظ أن الأطفال المصابين بهذا المرض يكونوا غالبا مولودين لأمهات أصغرهن كبيرة (إمراة تلد بعد عمر الأربعين).

٢- مرض تيرنر **Turner's Syndrome** : المرضى بهذا المرض يكون محتواهم الوراثي ٤٥ كروموسوما وليس ٤٦ كالطبيعي في الإنسان. ويشار لهذا المرض بالتركيب الوراثي (XO). وهو ناتج إتحاد بويضة خالية من الكروموسوم (X) مع حيوان منوي به كروموسوم (X)، أو ناتج من إتحاد حيوان منوي خالي من كلا من كروموسوم X & Y مع بويضة طبيعية. وفي هذه الحالات جميعها يتطور الزيجوت وينمو إلى أنثى (ونلكه لغساب H-Y Antigen الناتج عن طريق



شكل (٧-١٦) : لشكل لبت مصابة بمرض البلهاء المنفولية (زوج الكروموسومات رقم ٢١ يحتوي على ثلاثة كروموسومات).
منقول عن مرجع رقم ٣ بقائمة المراجع

كروموسوم ٧). هذه الأثنى لا تصل تقريباً إلى عمر البلوغ الجنسي، ويكون صدرها غير بارز بشكل واضح كما تغيب فيها ظاهرة التبويض (الدورة الشهرية أو دورة الطمث) شكل ٧-١٧. كما تكون هذه الأثنى قصيرة وعقيمة وتتصف بالتخلف العقلي.



شكل (٧-١٧) : لشكل لأثنى مصابة بمرض تيرنر.
منقول عن مرجع رقم ٣ بقائمة المراجع

أما لو إتحدت بويضة خالية من الكروموسوم X مع حيوان منوى يحمل كروموسوم Y فيشبار لهذا التركيب الوراثي (OY) وهو ذكر لا يستمر في الحياة ولذلك لا يوجد هذا المرض في الذكور لأن الذكر يموت وهو في المرحلة الجنينية. هذا ويقترح كثير من العلماء بضرورة وجود كروموسوم X واحد على الأقل حتى يستمر الفرد في الحياة.

٣- مرض كلاينفلتر **Klinefelter's Syndrome** : وهذا المرض ناتج من إتحاد حيوان منوى X مع بويضة XX (وبذا يكون التركيب الوراثي XXX) أو حيوان منوى Y مع بويضة XX (وبذا يكون التركيب الوراثي XXY) وفي حالة التركيب الوراثي (XXY) يتطور إلى ذكر غير طبيعي عقلياً وغالباً وأعضاؤه التماسلية في نصف حجمها الطبيعي أو أقل ولا توجد به الخلايا الخاصة بإنتاج الحيوانات المنوية. ويأخذ الذكر للشكل المظهرى المقارب للأنثى فيتميز بنمو الصدر إلى حد ما، مع نقص في كثافة ونمو شعر الذئق وفي معظم الحالات يكون الفرد طويل. أما في حالة التركيب الوراثي (XXX) فتسمى هذه الأنثى بالأنثى المتفوقة **Super female** وهؤلاء النساء يكون شكلهن عادى غالباً لدرجة أنهن في كثير من الحالات لا يعرفن أو يظهر لهن ذلك المرض إلا أنه في بعض الحالات قد يصبن بالتخلف العقلى مع تأخر نمو الأعضاء التماسلية وإختلال الإصابة بالطم.

التركيب الوراثي (XYY) : هذا التركيب ناتج من عدم انفصال الكروموسوم Y في الانقسام الغير مباشر الثانى مما ينتج عنه حيوان منوى ذو تركيب YY وإتحاد هذا الحيوان المنوى مع بويضة X ينتج التركيب (XYY). وهذا الذكر يكون تواق بشدة للنساء (له سلوك ورغبة جنسية شديدة للنساء) والذكر هنا يتصف بطول القامة نسبياً وغالباً ما يكون مختلف عقلياً وله سلوك إجرامى ففى بعض الحالات حيث تنفخه رغبته الجنسية الشديدة والغير طبيعية للنساء إلى الإجرام فى بعض الحالات.

الخلل الوراثى المحتمل كنتيجة للتغيرات التركيبية فى الكروموسومات :

Genetic Disorders May Also Obtained From Variations In Chromosome Structure :

لثناء عملية الإنقسام الإختزالى تحدث بعض التغيرات الكروموسومية مثل الإنقسام **Deletion** وهو عبارة عن ضياع جزء من الكروموسوم. أو مثل الإحلال أو الإنتقال **Translocation** وفيه تنتقم قطعة من كروموسوم وكروموسوم آخر غير مماثل أو غير منطابق حيث يزداد عدد الجينات فى الكروموسوم الذى إتحدت به هذه القطعة وهذا هو الفرق بين الإحلال **Translocation** والعبور

للكروموسوم Crossing over في العبور الكروموسومي يحدث تبادل عكسي بين الأجزاء المتناظرة للكروموسومات المتناظرة. وبالتالي ونتيجة لعملية الإحلال أو الانتقال Translocation يمكن إنتاج كروموسوم بدون سنتروميير بينما يكون للكروموسوم الآخر مسنتروميير وفي حالات الانفصام Deletion ينقد الأطفال الشبيهة للطعام بعض الشيء (تكون تغذيتهم ضعيفة). وفي حالة الأطفال الرضع تقل شهيتهم للرضاعة (رضاعة ضعيفة). أما حالات الإحلال أو الانتقال Translocation فهي ممكن أن تسبب سرطان الدم Leukemia كما يمكن أن تسبب خلل في الإتران الداخلي Homeostasis.

الأمراض الناجمة عن شوائب DNA الميتوكوندريا :

Diseases Resulting From DNA Abnormalities In Mitochondria :

كما ذكرنا سابقاً فالـميتوكوندريا تحتوي على حوالي ٣,٠% من DNA الكلي الموجود في الخلايا الحقيقية النواة.

وحدثنا في السنوات الأخيرة وجد بعض الباحثين نوع من أنواع العمى Blindness يرجع إلى خلل في DNA الميتوكوندريا. وهذا الخلل في DNA الموجود في الميتوكوندريا يسبب خلل في الجينات وبالتالي فهو يضيف إليه جديده لتوارث الأمراض عن طريق الجينات. والجنين الذي به خطأ أو خلل والموجود في الميتوكوندريا والذي يسبب فقدان البصر يسبب ذلك عن طريق البروتين اللازم لأول خطوة في تكوين الـ ATP ونقص هذا البروتين في الخلايا للمصابة للمصعب البصري Neurons of the optic nerve يسبب موت هذه الخلايا وبالتالي يسبب صم للولد. ولأن الميتوكوندريا تمر للأبناء عن طريق الأم Passed on by the mother فإن كل أبناء الأم الحاملة لهذا الـ Defective gene (في الميتوكوندريا) سوف تورثه لكن يمكن ألا يظهر للمعنى عليهم كلهم كنتيجة لطفرة تحدث بعد ذلك. ويلاحظ أن هناك عوامل أخرى ممكن تسبب هذا المعنى كما أنه يمكن أن تحدث بعض الأمراض الوراثية عن طريق أو كنتيجة لأخطاء أو خلل في DNA الموجود في الميتوكوندريا. ويقترح بعض الباحثين أن النشل الكلوي أو فشل القلب أو الجهاز العصبي المركزي يمكن أن يكون أحد نواتج الـ Defect في DNA الخاص بالميتوكوندريا.

الوراثة والبيئة والصحة العامة

مما سبق يتضح أن النظام البيئي Ecosystem عبارة عن التكافؤ أو ملائمة الإتران الداخلي Homeostasis الخاصة بنا والبيئة التي نعيش فيها وهناك سولين بالنسبة لهذا الجزء :

الأول : كيف تتحكم الجينات الموجودة بأجسامنا في شخصيتنا (تصرفاتنا الشخصية) ؟

والثاني : ما هو الدور الذي تلعبه البيئة التي نعيش فيها لتحكم به على شخصيتنا وسلوكنا ويحتمل أيضا
صحتنا ؟

علماء النفس قالوا ان شخصية الطفل تحددها البيئة (والداه - أصدقاءه - معلميه) وعلماء
آخرون قالوا أنها تتحدد أيضا من تركيبه الوراثي. ولقول الأرجح أن شخصية الطفل تتحدد بواسطة
التفاعل بين العاملين السابقين (البيئة والوراثة). ولفضل مثال على ذلك هو صفة الذكاء. وهذه الصفة
صفة كمية يؤثر عليها عدد كبير من الجينات. فهي تورث كما يؤثر عليها أيضا عوامل بيئية عديدة منها
الحضارة والتعليم... الخ.

فلو وجد فرد ذكي جداً في بيئة صحراوية وحياة بدائية فأن تظهر عليه كل أعراض الذكاء بينما
لو كان في بيئة متحضرة جداً سوف يكون من أكبر العلماء ومن الأشخاص المعروفين وهنا نتخلت
البيئة لتظهر التركيب الوراثي. ولذلك فكل الصفات المظهرية Phenotypic characters غالباً ما تتأثر
بالوراثة والبيئة وتفاعل الإثنين معا ونسبة تحكم الوراثة أو البيئة في هذه الصفات يمكن معرفتها من
المعادلة

$$\text{Phenotype} = \text{Genotype (G)} + \text{Environment (E)} + \text{GE}$$

الشكل المظهري = التركيب الوراثي + البيئة المحيطة بالفرد + التفاعل بينهما

ولا توجد علاقة مباشرة بين الجينات وتأثيرها على مظهر الكائن الحي حيث لا يوجد أبيل معين
يظهر تأثيره أو تعبيره مباشرة وذلك ونضع في حالة الأليلات السائدة والأليلات المتنحية حيث لا يظهر
تأثير الأليل المتنحي. رغم وجوده في التركيب الوراثي (باستثناء الأثر التجمعي للجين والذي تحدثنا عنه
من قبل) وبناءً على ذلك فهناك مجموعة من التفاعلات والأسباب التي يمكن أن يكون لها تأثير على
الجين وهي العلاقة ما بين المادة الوراثية والظروف البيئية المحيطة بهذا التركيب الوراثي وهو ما
يطلق عليه بالتفاعل ما بين البيئة والوراثة بالتالي فإن ما يورث هو القدرة على التفاعل لتركيب وراثي
بطريقة معينة مع الظروف البيئية المحيطة به (راجع المعادلة السابقة) والتركيب الوراثي هو الذي يحدد
إمكانات هذا التفاعل.

أما البيئة فهي التي تحدد تلك القدرة في الشكل المظهري للكائن فعلى سبيل المثال لا يوجد جين
أو مجموعة جينات قائمة بذاتها خاصة بسلية النمو ولكن هناك مجموعة من الجينات إذا توفرت لها
ظروف بيئية معينة تؤثر في عملية النمو فمثلاً لو كان فرد عنده جينات كفاءته عالية في تحويل الغذاء
ولكن يقدم له غذاء حافظ لحياته وليس غذاء إنتاجي وبالتالي لن يظهر تعبير هذه الجينات. وهناك نوعان
من التأثيرات وهما ١- للفائدة -٢- للتعبير.

والنفاذية : هي مقدرة جين معين أو عدة جينات معينة بينها توافق على إحداث أثرها المظهرى بدرجة معينة. وبالتالي يتطلب ظهور الصفة لأى كائن حتى توفر كلا من ١- التركيب الوراثى ٢- البيئة المناسبة.

ولكل جين مجال معين أو محدد يستطيع فيه التعبير عن نفسه فى الظروف البيئية المعينة وهذا يفسر لنا نسب في أن التركيب الوراثية المتماثلة أو المتشابهة لا تكون متشابهة في التعبير عن نفسها ولكنها تظهر تعبيرات مختلفة حسب الظروف البيئية المحيطة بها ولا يعنى ذلك أن الجين قد تغير ولكن الذى تغير هو التفاعلات التى تحيط بهذا الجين كالظروف البيئية.

ويمكن تقسيم الظروف البيئية إلى مجموعتين من المؤثرات : ١- مؤثرات خارجية : مثل درجة الحرارة - الرطوبة - الضوء - الغذاء.... الخ ٢- مؤثرات داخلية : مثل العمر - الجنس - المواد اللازمة لعمل الجين.

ومن أمثلة المؤثرات الخارجية : أ- درجة الحرارة : مثل لون شعر الجسم والأطراف فى أرانب الهيمالايا ف شعر الجلد أبيض والأطراف لونها رمادى وعند انخفاض درجة الحرارة يكون شعر الجسم رمادى مثل الأطراف وعند ارتفاعها يكون شعر الجسم أبيض وبالتالي لاختلاف درجة الحرارة يودى إلى اختلاف مظهر الفرد وذلك لأن الجين فى الأرانب يكون (يشفر إلى) إنزيم مسؤول عن الصبغ وهذا الإنزيم لا يتكون على درجة حرارة ٩٢° ف أو أعلا ولكن يتكون على درجة حرارة أقل من ٩٢° ف ب- ضوء الشمس : فكما علمنا من قبل أن عدم التعرض لفترات كافية من أشعة الشمس الفوق بنفسجية يسبب كساح الأطفال كنتيجة لنقص الصورة القابلة للإستفادة من فيتامين ٣ (Vitamin D3) كما يؤثر على الشكل المظهرى للكائنات فمثلا لا يتكون الكلوروفيل إلا فى ضوء الشمس فتنمو النباتات بوضاء. ج- الغذاء : فتلعب التغذية دور هام فى الشكل المظهرى فتغذية حيوانات اللبن على عليقة خضراء تزيد نسبة للدهن بها وتلذيتها على عليقة جافة تقلل نسبة الدهن بها - كما أن مرض البول السكرى يظهر بزيادة التغذية على الكربوهيدرات والسكريات عموما.

ومن أمثلة المؤثرات الداخلية : أ- العمر : ١- يظهر الصلع عند عمر ٢٠ سنة. ٢- يظهر مرض السكر عند عمر ٤٠ سنة. ٣- يظهر الكساح عند عمر ٧-٨ سنوات. وبالتالي فالجينات موجودة أصلا فى الحيوان ولكن لا تعمل إلا عند عمر معين فى حياة الحيوان. ب- الجنس : هناك صفات مرتبطة بالجنس والصفات المرتبطة بالجنس تظهر فى جنس دون الآخر مثل صفة إنتاج اللبن فى الإناث فهى لا تظهر فى الذكور والصفات المتأثرة بالجنس تظهر فى جنس دون الآخر رغم تشابه التركيب الوراثى مثل صفة الصلع ووجود القرن فى الأغنام فمثلا لو كان التركيب الوراثى للفرد

Hh يكون الذكر أصلع والأُنثى بشعر، وأيضاً التركيب الوراثي Aa يكون كرش يتقرون وفسى النعجة تكون عذيمة للثرون.

علاقة الوراثة بالبيئة في الإنسان :

الصفات : أ- مجموعة تتشابه فيها الأفراد وتختلف عن بعضها كنتيجة للتشابه أو الاختلاف في العوامل الوراثية مثل لون العين ومساميح اللد في الإنسان حيث تتحدد هذه للصفات بمجرد تكوين الزيجوت. - ب- مجموعة تتشابه فيها الأفراد وتختلف عن بعضها كنتيجة لتغير الظروف البيئية مثل اللغات (أسمى تشابه تركيب وراثية وإختلاف بيئة كما أن صفة الذكاء تتأثر بالوراثة ولكن تؤثر فيها البيئة أيضاً فوجود فردين في مجتمعين أحدهما متحضر والآخر متأخر يؤثر بالطبع في طريقة تفكير كلا منهم وبالتالي فإن مجموعة الجينات في بيئات مختلفة تؤدي إلى أشكال مظهرية مختلفة فالوراثة لا تنقل الصفات ولكن الصفات تنتقل عن طريق إستجابة الجينات للعمل في بيئة معينة.

الهندسة الوراثية Genetic Engineering:

بدأت الهندسة الوراثية مع بداية سنة ١٩٧٣م كنتيجة لأبحاث أجريت في جامعات مستقنورد وكالفرنوا. ويفضل علماء الوراثة تسمية الهندسة الوراثية بإسم تكنولوجيا (تقنية) إعادة إتحاد DNA (Recombinant DNA Technology) أو تقنية تطعيم DNA . وتأتي هذه للتسمية من طريقة العملية نفسها حيث يقوم العلماء بأخذ أجزاء من الحامض النووي DNA (عصارة من جين معين مرغوب) من كائن ثم يدمج مع DNA كائن آخر أي أنه يتم في هذه العملية وصل الجينات Gene splicing ببعضها. وتتم هذه العملية عن طريق نوصين من الإنزيمات : ١- إنزيمات القطع المتخصصة Restriction Enzymes ويسمونها البعض إنزيمات التحديد كما تسمى أيضاً Restriction Endonuclease وهذه الإنزيمات معروف منها ويبيع بصفة تجارية الآن حوالي ٥٠٠

نوع وهي تقوم بقص قطع من خيوط DNA المزودة

٢- إنزيمات اللحام : حيث تقوم بإعادة وصل الجينات ببعضها. ولغرس الجينات المأخوذة من كائن في كائن آخر لابد أولاً من إدخالها في خيوط صغيرة دائرية من DNA والتي يمكن عزلها من البكتريا وهذه الخيوط تسمى بلازميدات Plasmids. ولأسس الطريقة هنا أن الباحثون يقومون بزراعة جين معين للإنسان (جين إنتاج هرمون الإنسولين مثلاً) في خلايا بكتيرية. ثم تحضن البكتريا في بيئة مناسبة (تتوفر لها التغذية المناسبة) حيث تتكاثر بسرعة كبيرة، وكلما تكاثرت كلما إزداد إنتاجها من هرمون الإنسولين الخاص بالإنسان Human Insulin. ثم بعد ذلك تنقل

البكتريا ويستخلص منها هرمون الإنسولين. وفي هذا الصدد فهو يباع بصفة تجارية وبكميات متوفرة الآن.

وبالتالى فالهندسة الوراثية يتم تطبيقها الآن فى ثلاث مجالات رئيسية هى : ١- الإنتاج المكثف لبعض الكيماويات الحيوية Biochemicals الهامة للإنسان مثل الهرمونات (حاليا ينتج بكميات كبيرة هرمون الإنسولين وهرمون النمو Growth hormone وبعض الهرمونات الأخرى الهامة والتي تعالج كثير من الأمراض فى الإنسان). ٢- تحسين مقاومة بعض الحيوانات والنباتات للأمراض وتحسين إنتاجيتها وصفات أخرى عن طريق نقل الجينات إليها -٣- علاج الإنسان بالهندسة الوراثية عن طريق نقل جينات من كائن آخر إليه. ويلاحظ أن هذه التطبيقات لا تخلو من مشاكل ومخاطر كثيرة عرفنا جزء بسيط منها أما الجزء الأكبر فلم نعرفه حتى الآن. لكن الهندسة الوراثية تقدم أيضا حلول لمشاكل كبيرة فى الإنسان. فمثال هرمون الإنسولين وهرمون النمو الذى ذكرناه آنفا كان أحد المشاكل الكبيرة فى الماضى. لقد كان الإنسولين المستخدم لمرضى البول السكرى يستخلص من بنكرياس الخنزير والمائدية وقد كان ذلك مكلفا بدرجة كبيرة كما كانت الكميات المستخلصة ضئيلة جداً كما أن الهرمون المستخلص من الحيوان كان غير مطابق من الناحية الكيميائية لتلك الموجود فى الإنسان وبالتالي كان الجسم يعامل هذه الهرمونات (جزيئات بروتينية) كمواد غريبة ويهاجمها عن طريق الجهاز المناعى مما يتطلب تغيير مستحضر الإنسولين من وقت لآخر. وما تحدثنا فيه بشأن هرمون الإنسولين ينطبق تماماً على هرمون النمو Growth hormone (GH) الذى يعالج به الأطفال المصابين بمرض التكدن Dwarfism.

هذا وتحتاج الهندسة الوراثية إلى ثلاث مجالات تكنولوجية رئيسية هى :

١- أجهزة دقيقة ذات حساسية عالية.

٢- التوسع والإستيعاب بإستفاضة لعلوم للنظائر المشعة.

٣- توسيع دائرة إكتشاف الإنزيمات المتخصصة للأحماض الأمينية.

أهم العوامل التى تلعب دور كبير فى الهندسة الوراثية :

١- الهلاميدات : وهى عبارة عن عناصر وراثية ذاتية التناسل ومستقلة عن كروموسوم

الخلية وهى تتكون من أجزاء من DNA مزدوج الخيط وذات تنظيم دائرى للشكل وهى غالباً توجد فى السيتوبلازم فى جميع الخلايا البكتيرية كما توجد فى بعض الخلايا مميزة النواة مثل خلايا السرة والدروغولا.

وهذا البلازميد يكون خارج النطاق الجينى ويسمى Exoplasmide أو قد يكون مشتق من

الجينوم العادى للخلية على شكل تنابعات فى الـ DNA ويسمى بالإندوبلازميد Endoplasmide.

ونتيجة للتقدم السريع في علم الوراثة الميكروبية فقد اكتشف عدد من البلازميدات والتي لها عناصر وراثية خاصة في بكتيريا E.Coli.

وتنقسم طرق تلامس (تضاعف) المادة الوراثية للبلازميد إلى طريقتين :

الأولى : طريقة تناسخ ذاتي في السيتوبلازم مستقلة تماماً عن كروموسوم البكتيريا.

الثانية : طريقة تناسخ غير ذاتي في السيتوبلازم (جزء مرتبط مع كروموسوم البكتيريا).

ويختلف طول البلازميدات والتي تتراوح من ٢ - ٥٠٠ نيوكليوتيد من إزواج القواعد. وتختلف في الشكل (إلا أن أغلبها في شكل دائري من الحمض النووي DNA وقد أمكن تمييز بعض أشكال البلازميدات الخطية أو العصبية وأخرى مكونة من RNA مزدوج الخط وأخرى بلازميدات من RNA مفرد الخط وتستخدم البلازميدات في الهندسة الوراثية كنتيجة لما تتميز به من خصائص عامة يمكن تلخيصها في النقاط التالية : ١- فهي توجد مستقلة داخل سيتوبلازم الخلية وتتضاعف ذاتياً منفصلة عن كروموسوم البكتيريا ٢- أغلب البلازميدات تكون في شكل دائري وتكون مستقلة عن البستونات كما يسهل انتقالها من خلية لأخرى، كما يسهل عزلها، ويسهل أيضاً قطعها بواسطة إنزيمات القطع المتخصصة ٣- قد تكون دائرية أو خطية أو عصبية وتوجد في صورة نسخة واحدة داخل الخلية ٤- يمكن أن يحدث لها إنمحاء أو تتصل بالكروموسوم الرئيسي للخلية وتملك نفس سلوكه البلازميد العادي ٥- الكائنات الراقية توجد بها بلازميدات وتشابه في خصائصها مع خصائص بلازميدات البكتيريا ٦- قد توجد مستقلة أو داخل الفشاء النووي ٧- بعض البلازميدات من أصل نووي أو من ميتوكوندريا وتتربص من DNA أو RNA ٨- تعرف الخلية التي بها بلازميد من وجود خاصية العدو أو بعض الصفات المرتبطة بالبلازميد.

٢- أما بالنسبة للجزء الثاني الذي يلعب دور في عملية الهندسة الوراثية (التقنية الحديثة) هو الإنزيمات المتخصصة : ويمكن تلخيص دور الإنزيمات في النقاط التالية : ١- هي المسؤولة عن عملية التضاعف السابق ذكرها ٢- هضم أو تكسير أو تقطيع أي DNA غريب (عن طريق الإنزيمات القطع المتخصصة) ٣- تلعب دور في إصلاح أي كسر من أجزاء الـ DNA ٤- تلعب دور هام في عملية القص واللصق للجينات في عملية الهندسة الوراثية ٥- توجد إنزيمات نووية لها دور في عملية تكوين الإحداثيات الجديدة وهذه استخدمت في عملية قطع ولصق جزيئات DNA ومن أهم أنواعها إنزيم النيوكلياز (يقطع جزيئات الأحماض النووية) ويوجد منها نوعين ١- Exo يقطع طرفي. ٢- Endo يقطع قطع بيني وذلك عن طريق كسر الروابط الفوسفورية ثنائية الإستر. ويلاحظ أيضاً أنه توجد إنزيمات Endo غير متخصصة أي تهاجم DNA في أي موقع سواء كانت مواقع مفردة أو مزدوجة.

إستزراع الجين (DNA) : عندما أصبح في الإمكان تقطيع الحامض النووي DNA من خلية كائن ونقل جزء منه إلى كائن آخر، فإن خصائص هذا الكائن سوف تتغير بطريقة محددة. وطد وضع مقطع من DNA في بكتريا فإن هذا المقطع يتكاثر بسرعة وبالتالي فهو يعطي نسخ عديدة من الجزء المنقول إليه.

هذا والطريقة الشائعة المستخدمة في عمليات إستزراع الجين تتلخص في : -١- فصل المادة الوراثية (DNA) من الخلية عن طريق عمليات الطرد المركزي وذلك بعد التأثير على جدر الخلايا عن طريق عمليات الربط -٢- بإستخدام إنزيمات القطع المتخصصة Restriction enzymes يتم قطع مقاطع الجين أو الجينات المراد نقلها وإصلها عن باقي الـ DNA -٣- لصق للجينات مع وسيلة إنتقال (عملية لحام هذه الجينات مع وسيلة إنتقال) وقد تكون وسيلة الإنتقال هذه بلازميد أو بعض أنواع معينة من الفيروسات -٤- بعد عملية لصق (أو لحام) الجين المطلوب مع البلازميد أو الفيروس تجري عملية نقل الجزء المعلوم (البلازميد + الجين) إلى بكتريا سريعة التكاثر وهي نوع يسمى E.Coli -٥- يتم بعد ذلك التأكد من إستزراع (أو نقل) هذا الجين في الخلايا البكتيرية عن طريق التعبير الجديد الذي يحدث في الشكل المظهري Phenotype للخلايا.

ويجدر الإشارة هنا إلى أن هذه العملية لا تتم بسهولة ولكن تقابلها بعض الصعوبات ومثالا لذلك استد تخليق هرمون النمو في الإنسان (Human growth hormone (hGH) هذا الهرمون يتحكم في النمو ويشطه بوجه عام في الجسم كما أن نقص إفرازه يسبب مرض للتقدم. أمكن تحديد الجين الخاص به وقطعه ثم إدماجه وتوصيله على بلازميد لإدخاله في خلايا بكتريا E.Coli ثم بدأت هذه البكتريا في إنتاج كميات كبيرة من الهرمون (كنتيجة لسرعة تكاثر الخلايا البكتيرية)، لكن نفس الوقت وجد أن كل الخلايا البكتيرية أنتجت إنزيم يحلل هذا الهرمون (هذا الهرمون هو هرمون بروتيلى يتكون من سلسلة من الأحماض الأمينية).

وللتغلب على هذه المشكلة تم ربط الجزء الرئيسى المسؤول عن هذا الهرمون مع جزء جين Z وكان لنتيجة هذا الإرباط تثبيط إنتاج الإنزيم المحلل للهرمون وبالتالي زيادة إنتاج الهرمون عن العملية السابقة.

هذا وتساهم الهندسة الوراثية في الإنتاج النباتي والحيواني بوجه عام : ومن الأمثلة على ذلك -١- لقد أمكن إنتاج نبات ذرة مقاوم للحفنف -٢- كما أمكن إنتاج أرز وقمح مقاوم للملوحة -٣- أمكن أيضا إنتاج نباتات ذاتية المقاومة وبالتالي لا تستخدم المبيدات ومثال ذلك فقد أمكن إدخال جين في نبات القطن ينتج مادة معينة تؤدي إلى موت دودة ورقة القطن -٤- أمكن إنتاج أصصال ولقاحات هامة تقضى على بعض أمراض الحيوان الزراعى مثل الإلتهاب الرئوى والحمى القلاعية -٥- كما

لمكن إنتاج هرمونات تزيد إنتاج اللبن. بالإضافة إلى ذلك فقد أمكن إنتاج هرمونات لعلاج بعض الأمراض في الإنسان كما سبق ذكره.

مخاطر إستخدام الهندسة الوراثية :

بالطبع مع إستخدام هذه التقنية الجديدة لابد أن نذكر أن عوامل الأمان لا زالت غير مؤكدة بناتنا فمثلاً قد تنتقل بعض الجينات الخاصة بمقاومة المضادات الحيوية إلى كائنات حية أخرى وبالتالي تسبب ضعف مقاومتها للأمراض. كما قد تنتقل بعض الجينات المسببة لإنتاج بعض السموم إلى كائنات بكتيرية لم تكن مسببة للأمراض مما يضيف كائنات بكتيرية ممرضة أخرى. وأيضاً وجد أن إدخال DNA فيروسات مسببة للأمراض إلى بلازميدات أو بكتريا قولونية تسبب في ظهور مرض السرطان. ومن المخاطر المثيرة للقلق الشديد هو احتمال إطلاق بكتريا تم تغيير المادة الوراثية فيها وقد تنتشر هذه البكتريا وتكون ضارة ولا يمكن في هذه الحالة إستعمالها بعد إنتشارها ومثالاً لذلك فالبكتريا التي يتم تغيير المادة الوراثية فيها لإبطاء تكوين الصقيع قد تدخل الجوع على ذرات الغبار وتسبب نقص تكوين السحب وبالتالي تغير بذلك مناخ الكرة الأرضية مما يسبب فوضى في الأنظمة البيئية الطبيعية Ecosystems. كما أن عمليات نقل الجينات من نوع إلى نوع آخر هو نوع التدخل الوراثي الغير محسوب خاصة وأن خبرة الإنسان بالهندسة الوراثية محدودة للغاية. ولذلك فحين نحقق أن تغيير العلماء للمخاطر والآثار المكسبة للهندسة الوراثية قد يكون أقل بكثير من المخاطر المحتملة. ولذلك فيجب مع إباحة مشروعية هذه التقنية (الهندسة الوراثية) التمسك الشديد بحظر التجارب التي تمثل خطورة على الجنس البشري.

الباب الثامن

جسم الإنسان أو الحيوان : من الخلايا إلى الأنسجة

Human Or Animal Body : From Cells To Tissues

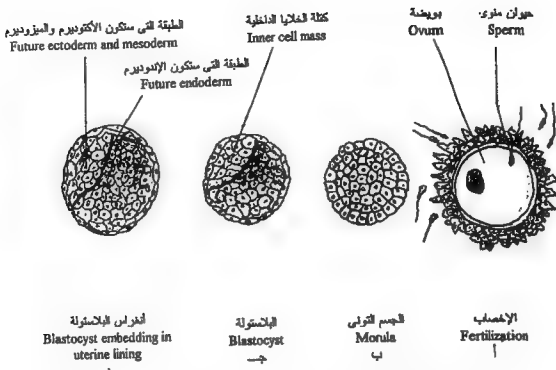
الأنسجة Tissues

مقدمة Introduction تبدأ حياة الفرد (الإنسان أو الحيوان) بخلية واحدة هي البويضة

التي أحصبها الحيوان المنوي وتسمى هذه الخلية للزيجوت Zygote ويحتوى هذا الزيجوت على كل المعلومات اللازمة لتكوين كائن حي من نفس نوع الأبوين (هذه المعلومات موجودة في الـ DNA بالطبع) وعلى كل المعلومات اللازمة لتنظيم وظائف دورة حياة هذا الفرد مثل الاتزان الداخلي Homeostasis والنمو Growth والتكاثر Reproduction... الخ. وخلال المراحل أو التطور الجنيني ينقسم هذا الزيجوت مكونا خليتين فأربعة ثم ثمانية خلايا إلى أن يتكون مجموعة من الخلايا على شكل كرة والتي تسمى الجسم الثوتى Morula والبيض يسميها كتلة الخلايا الثوتية (شكل ٨-١).

١). وتتميز مرحلة الجسم الثوتى بحدوث عملية تسمى Compaction بين الخلايا وبعضها وبالتالي ففي مرحلة الجسم الثوتى يصعب عد الخلايا تحت الميكروسكوب، ويتبع مرحلة الجسم الثوتى هذه عملية تشكل الخلايا Cell differentiation وهذه هي بداية تخصص الخلايا تركيبيا ووظيفيا حيث تتميز الخلايا إلى ثلاثة أنواع هي : ١- الإكتوديرم Ectoderm وهي تكون الطبقة الخارجية للجنين (شكل ٨-١) حيث تغطي فيما بعد الجلد والعيون والجهاز العصبي-٢- الميزوديرم Mesoderm وموقعه (مكانه) في الوسط (شكل ٨-١) ويغطي فيما بعد العضلات والغضاريف والعظام. ٣- الإندوديرم Endoderm وهو الطبقة الداخلية (شكل ٨-١) ويغطي فيما بعد الأجزاء المبطنة للقناة الهضمية وعدة أنواع من الغدد. وخلال التطور الجنيني لا يحدث فقط تمايز للخلايا بل قد تهاجر الخلايا إلى مواقع جديدة وتتحد إختاريا مع خلايا أخرى لتكوين التركيب المتعددة الخلايا. ثم تقوم خلايا الإكتوديرم والميزوديرم والإندوديرم بتكوين عديد من الخلايا عالية التميز (الشكل).

هذه الخلايا المتميزة تنتج ألياف وبعض المواد التي نراها بين الخلايا (أي خارج الخلايا) والتي دائما تقوم بربط الخلايا ببعضها مكونة الأنسجة. هذه المادة الموجودة بين الخلايا قد تكون سائلة كما في الدم (والم يعتبر صورة متخصصة من النسيج الضام) أو مادة صلبة (مثل الـ Bon matrix الموجودة في العظام) أو مادة شبه صلبة كالموجودة في الغضاريف Cartilage. وكما تخصصت



شكل (٨-١) : المراحل الأولى من العمر الجنيني : ١- الإخصاب ب- الجسم القوي ج- مرحلة البلاستولة د- انغراس البلاستولة في جدار الرحم.

الخلايا تختصص الأنسجة أيضاً وتتحد مع بعضها لتكوين أعضاء Organs مثل الكبد والكلية ... وغيرها وهي عبارة عن تراكيب محددة في الجسم تقوم بوظائف خاصة. وتتصل هذه الأعضاء ببعضها لتكوين أجهزة الجسم Organ systems. وحتى الآن دون العلماء حوالي ٢٠٠ نوع مختلف من الخلايا موجود في جسم الإنسان أو الحيوان. لكن طبقاً للوظيفة العامة التي تؤديها هذه الخلايا يمكن تقسيمها إلى أربعة أقسام هي : ١- خلايا النسيج للعضام ٢- خلايا طلائية ٣- خلايا عصبية ٤- خلايا عضلية. ويوجد داخل كل قسم من هذه الأربعة أقسام الوظيفية خلايا ذات أشكال متعددة وذات وظائف متعددة أيضاً. ومثالاً لذلك فالخلايا الطلائية نجد لها الشكل المكعبى والعمادى والحرشفى ... الخ كما نجد فيها أيضاً خلايا إفرازية (مكونة للغدد) وخلايا مهدبة وغير مهدبة...

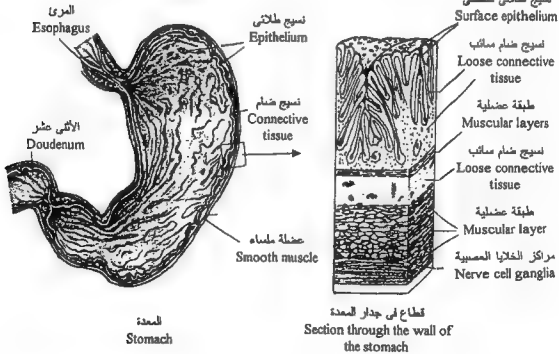
الأنسجة الأولية : The Primary Tissues يعرف النسيج الأولى أو الرئيسى

على أنه تجمع من نوع واحد من الخلايا المتخصصة. أما النسيج العضوى (كلمة نسيج تطلق أحياناً على العضو بالكامل مثل النسيج الرئوى Lung tissue أو النسيج الكبدى Liver tissue... الخ) فهو يحتوى على الأربعة أنواع من الأنسجة وهى الأنسجة الطلائية والعضلية والمصبية وهى

الأنسجة التي توجد في الإنسان أو الحيوان البالغ. وينقسم كل قسم من هذه الأنسجة إلى تحست نماذج Sub types كالآتي : -١- الأنسجة الطلائية Epithelial Tissues (ET) وهذه تنقسم إلى الأنسجة الطلائية الغشائية Membranous E.T والأنسجة الطلائية الغدية Glandular E.T. هذا وتتميز خلايا النسيج طلائي بأنها متخصصة في الإقترار الإختياري وإمتصاص الأيونات والجزيئات العنصرية وهي خلايا إما أن تغطي أسطح أو تبطن تجاويف وترتكز هذه الخلايا على مادة غير خلوية متجانسة وتسمى بالفضاء القاعدي Basement membrane -٢- الأنسجة الضامة Connective tissues (C.T.) وهذه تنقسم إلى قسمين هما : الأنسجة الضامة الأصلية C.T. proper والأنسجة الضامة المتخصصة Specialized C.T. والأخيرة تشمل الغضاريف والعظام والدم. وتتميز خلايا هذا النسيج بأنها تقوم بربط وتثبيت وتدعيم للتركيب المختلفة بالجسم كما يوجد بين هذه الخلايا كمية كبيرة من المادة البينية (أو الخارج خلوية). هذا وتشمل خلايا النسيج الضام الخلايا والألياف الموجودة في الشبكة الخلوية التي تحيط بمعظم الطبقات الطلائية، بالإضافة إلى عدة أشكال متنوعة أخرى كخلايا الدم الحمراء والبيضاء والخلايا العظمية وخلايا النسيج الضام المنخرنة للدهون. ويجدر الإشارة أن كثيراً من خلايا النسيج الضام تفرز إلى السوائل المحيطة بها جزيئات تكون مادة بينية (بين الخلايا) Extra cellular matrix وهي عبارة عن أنواع مختلفة من الألياف البروتينية. ويختلف قوام هذه المادة البينية فقد تكون جيلاتينية نصف سائلة Semifluid gel مثل الموجودة في النسيج الضام الخلالي Loose C.T. أو تكون ذات تركيب صلب متبلور مثل الموجود في العظام وهناك عدة أنواع من هذه الألياف البروتينية المكونة للمادة البينية وهي أ- ألياف مرنة صفراء Elastin fibers وهي قابلة للتمدد ب- ألياف شبكية Reticular fibers وهي ألياف دقيقة كثيرة الفرع ج- ألياف كولاجينية بضاء Collagen fibers وهي ألياف قوية مقاومة للشد. ٣- الأنسجة العضلية Muscular tissues وتنقسم إلى العضلات الهيكلية Skeletal muscles والعضلات الملساء Smooth muscles والعضلات القلبية Cardiac muscles. وتخصص خلايا هذا النسيج في توليد القوة المحركة والحركة. وللخلايا العضلية المتصلة بالعظام تسبب حركة الأطراف وجزع الجسم أما المتصلة بالجذع فتسبب تحريك الوجه مثلاً والمتصلة بالقلب تسبب انقباضات القلب لتضخ محتوياته والمتصلة بالأوعية الدموية تسبب إمتاع وضيق الأوعية الدموية عندما تتبسط وتقبض على التوالي. ٤- الأنسجة العصبية Nervous tissues وتنقسم إلى الأنسجة العصبية الداعمة Supportive nervous tissues والأنسجة العصبية الموصلة Conductive nervous tissues وخلايا هذا النسيج تخصص في إنتاج وتوصيل الإشارات الكهربائية. وعلى وجه العموم فخلايا هذا

النسيج تستقبل نبضات حسية من البيئة المحيطة باللفرد وتحولها إلى نبضات حركية داخل الجسم والنبضات الحركية هذه قد تكون إفراز غدة أو تحريك عضلة أو تنشيط إنزيم معين....الخ.

هذا وتوجد الأنسجة الأولية الأربعة في جميع أعضاء الجسم لكن بأنماط ونسب متفاوتة فهي إما توجد في صورة أخصية Sheets أو طبقات Layers أو أنابيب Tubes أو حزم Bundless ... الخ، ومثالا لذلك تتكون بطانة المعدة من طبقة واحدة من الخلايا الطلائية بالها مباشرة (تحتها) طبقة من الأنسجة الضامة. ومعظم جدار المعدة يتكون من طبقة سميكة من العضلات الملساء، كما توجد أيضا العضلات الملساء في الأوعية الدموية التي تمد أنسجة المعدة كما تتصل الأعصاب بهذه الأوعية الدموية وتنظم ورود الدم إلى أنسجة المعدة (شكل ٨-٢). ومثالا آخر فالكلية تتكون من سلاسل من أنابيب صغيرة كلا منها يتكون من طبقة واحدة من الخلايا الطلائية وأوعية دموية تحتوي جدرانها على نسب مختلفة من العضلات الناعمة والنسيج للضام كما توجد بها إمدادات من خلايا عصبية تنتهي بالقرب من الخلايا العصبية والطلائية، كما تحتوي أيضا على شبكة من مكونات النسيج الضام السائب مبسثرة في مناطق مختلفة خلال الكلية كما أنها تكون أيضا للكبسولة المغلفة للكلية وهناك أمثلة كثيرة في كل عضو من أعضاء الجسم وسوف نعرض لذلك بالتفصيل بإذن الله في الأبواب القادمة عند التحدث عن الأجهزة المختلفة بالجسم.



شكل (٨-٢) : قطاع في جدار المعدة يبين أنواع الأنسجة الأولية المكونة للمعدة.

١- النسيج الطلائي (Epithelial Tissue or Epithelium) : كما ذكرنا من قبل

يوجد النسيج الطلائي إما مبطنًا لتجاويف أو مغلفًا لأسطح وإذا سُمي بالنسيج الطلائي. وينشأ هذا النسيج من طبقتي الأكتوديرم والإندوديرم أثناء التطور الجنيني.

خصائص النسيج الطلائي : ١- النسيج الطلائي يتركز على غشاء قاعدي Basment

membrane هذا الغشاء يعمل على دعامة النسيج ويفصله عن الطبقة التي تحته. ٢- خلايا النسيج الطلائي مترابطة بجوار بعضها البعض وعليه فالمادة بين الخلايا Extracellular التي تقوم بلصق الخلايا تكون قليلة جدًا أو تكاد تكون غير موجودة ٣- النسيج الطلائي خالي من الأوعية الدموية ولذلك فالغذاء يصله عن طريق الانتشار من الطبقة التي تليه (تحته). ٤- بعض خلايا النسيج الطلائي تتصف بوجود بعض الأهداب Cilia على أسطحها.

وكما ذكرنا من قبل ينقسم النسيج الطلائي بوجه عام إلى نوعين أساسيين : ١- النسيج الطلائي

الغشائي أو السطحي ٢- النسيج الطلائي الغدي.

أولاً : النسيج الطلائي السطحي أو الغشائي Membranous or Surface

Epithelium : هذا النسيج ينقسم إلى مجموعتين من الأمثلة هي : ١- النسيج الطلائي البسيط - ٢- النسيج الطلائي المركب.

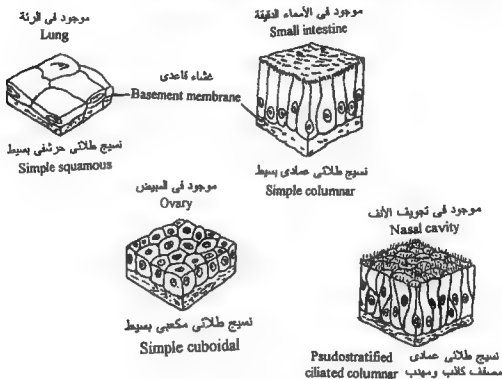
١- النسيج الطلائي البسيط Simple Epithelium : كلمة بسيط هنا معناها أنه يتكون من صف واحد من الخلايا، وجميع خلايا هذا النسيج تتركز على غشاء قاعدي. وينقسم هذا النسيج إلى عدة أنواع تبعاً لشكل وحجم خلاياه وأنواعه هي :

أ- نسيج طلائي حرشفي بسيط Simple Squamous Epithelium : خلايا هذا النسيج سداسية أو غير منتظمة الشكل أحياناً وهي تشبه البلاط السداسي الشكل لذا يسميه البعض النسيج البلاطي. ويوجد في الخلايا المبطن للأوعية الدموية والمغلفة للارتئين ومحفظة بومان في الكلية (شكل ٣-٨).

ب- نسيج طلائي مكعب بسيط Simple Cuboidal Epithelium : خلايا هذا النسيج مكعبة الشكل وتتكون من ستة أوجه وللنواة توجد متمركزة في وسط الخلية ويوجد في الغدد العرقية والغدد اللعابية والمبيض (شكل ٣-٨).

ج- نسيج طلائي عمادي بسيط Simple Columnar Epithelium : خلايا هذا النسيج تشبه الأعمدة وتتركز أيضاً صوبية على الغشاء القاعدي وتوجد النواة في قاعدة الخلايا بالقرب من الغشاء القاعدي ويوجد هذا النسيج مبطناً لبعض قنوات الغدد والمعدة والأمعاء الدقيقة (شكل ٣-٨).

د- تسميع طلائي عمادى بسيط مهبب **Ciliated Columnar Epithelium** : نفس صفات النسيج الطلائي العمادى البسيط إلا أن خلاياه تختلف فى أن حوافها الحرة تحمل زوائد شعيرية (أهداب) ويوجد فى بطانة القصبة الهوائية وقناة المبيض **Oviduct**.

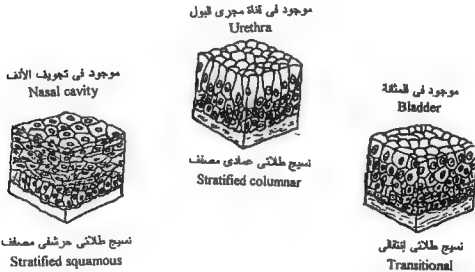


شكل (٣-٨) : النسيج الطلائي النشائي البسيط بألوانه ولكن توجد فى الجسم.

هـ- نسيج طلائي عمادى مصنف كاذب **Pseudostratified Columnar Epithelium**: هذا النسيج نسيج بسيط يتكون من صف واحد من الخلايا وجميع هذه الخلايا ترتكز على غشاء قاعدى واحد إلا أن طريقة تراصها تجعلها تبدو مرتبة فى أكثر من صف واحد. لذا تبدو أنوية الخلايا مرتبة مصنف. والسبب فى ذلك أن خلاياه غير متساوية فى الطول فبعضها طويل والآخر قصير ومتداخله مع بعضها البعض لذا تبدو مرتبة فى أكثر من طبقة واحدة (شكل ٣-٨). هذا وقد تحمل الأطراف الحرة لخلايا هذا النسيج أهداب ويطلق عليه فى هذه الحالة نسيج طلائي عمادى مصنف كاذب ومهبب ويوجد هذا النسيج فى التجويف الأنفى وفى الغشاء المخاطى المبطن للقصبة الهوائية.

٢- النسيج الطلائي المركب (أو المصنف) **Stratified Epithelium** : ويتكون من خلايا طلائية مرتبة فى أكثر من طبقة واحدة بعضها فوق بعض كطبقة عليا وطبقة وسطى وطبقة سفلى

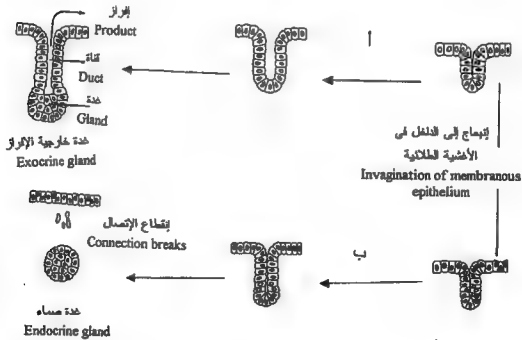
كالنسيج الطلائي الموجود في بشرة جلد الإنسان. والطبقة السفلى تتكون من خلايا عمادية أو مكعبة ذات أوتية كبيرة وهي سريعة الانقسام وذلك تسمى بالطبقة المولدة. وهناك أربعة أنواع من هذا النسيج هي : أ- نسيج طلائي حرشفي مركب (مصنف) **Stratified Squamous Epithelium** : ويوجد في تجويف الفم وبشرة الجلد (شكل ٨-٤) ومنطقة مختلفة من الجسم. ب- نسيج طلائي عمادي مركب (مصنف) **Stratified Columnar Epithelium** : ويوجد في قناة مجرى البول Urethra والعنبرة (شكل ٨-٤). ج- نسيج طلائي مكعبي مركب (مصنف) **Stratified Cuboidal Epithelium** : ويوجد في قناة الحالب وقناة الغدة الدهنية وقناة الغدة المرئية. د- نسيج طلائي إنتقالي مركب (مصنف) **Transitional Epithelium** : عبارة عن نسيج خاص يتميز خلاياه بمرونتها وقدرتها على تغيير شكلها حسب الضغط الواقع عليها فتكثف وتتمدّد تبعا لذلك، وهذا النسيج يتكون من عدة طبقات (حوالي ٣-٤ طبقات) ويتميز بأن خلاياه لا تضمحل من على السطح ويعاد تجديدها كما في خلايا بشرة الجلد. ويوجد هذا النسيج في جدار المثانة البولية Bladder (حيث ينضغط عند ملئ المثانة بالبول وينبسط عند تفريغ المثانة عن طريق التبول) (شكل ٨-٤).



شكل (٨-٤) : الشكل يوضح النسيج الطلائي الإنتقالي المركب (المصنف).

ثانيا : التسيج الطلاحي الغدي : Glandular Epithelium : الغدة عبارة عن مجموعة من

الخلايا الجسمية انضمت لبعضها وتخصصت في عملية الإفراز أى هي خلايا إفرازية Secretory cells تجتمع مع بعضها لتكون غدة مفزة (وتسج غدى). وتقوم الغدة الصماء بإفراز مركبات كيميائية عضوية تسمى الهرمونات وهذه تعمل أساسا على المحافظة على التوازن الداخلي Homeostasis في الجسم. وهناك نوعان من الغدد في الجسم النوع الأول وهى الغدد خارجية الإفراز أو تسمى الغدد القنوية أو الغدد ذات الإفراز الخارجى Exocrine glands والنوع الثانى هو الغدد ذات الإفراز الداخلى أو يسمى الغدد الصماء أو الغدد اللاقنوية Endocrine glands. وتتكون هذه الغدد خلال التطور الجنيني Embryonic development كنتيجة لحدوث انشعابات في الطبقة الطلائية الغشائية (السطحية) (شكل ٨-٥) فإذا كانت الغدة المتكونة غدة قنوية (خارجية الإفراز) فيظل في هذه الحالة الإنشعاد المتكون متصلا بالطبقة الغشائية السطحية بواسطة قنوات Ducts ليكون الغدة ذات الإفراز الخارجى Exocrine gland مثل الغدة العرقية التى لها قنوات توصل إفرازاتها إلى سطح الجلد والغدد اللعابية التى لها قنوات تصب في الفم. أما بالنسبة للغدة الصماء فهى تتفصل تماما عن مصدرها الجنيني (شكل ٨-٥) وتقوم بصب إفرازاتها من الهرمونات مباشرة في الدم.



شكل (٨-٥) : الشكل يوضح أ- خطوات تكوين الغدة خارجية الإفراز Exocrine gland ب- خطوات تكوين الغدة داخلية الإفراز Endocrine gland.

العلاقة بين التركيب ووظيفة الأنسجة الطلائية : من دراسة النسيج الطلائي يتضح لنا معلومة بيولوجية رئيسية وهامة وهى أن التركيب Form مرتبط ارتباطاً وثيقاً بالوظيفة Function وهذه العلاقة تتضح فى كل أجزاء جسم الفرد (سواء إنسان أو حيوان) عموماً، والأنسجة الطلائية توضح أمثلة عديدة لهذه العلاقة منها : -١- يقوم النسيج الطلائي الغشائى بعدة وظائف فهو يقوم بحماية الأنسجة الداخلية كما يقوم بعملية إمتصاص المواد وينقلها من مكان لآخر، كما تقوم خلاياه بإفراز كثير من الرسائل الكيميائية فى الجسم (الهormونات مثلاً) وبعض المركبات الكيميائية السائلة (محاليل) مثل العرق واللعاب. وفى كل وظيفة من هذه الوظائف يكون لها تركيب معين فمثلاً وظيفته الحماية فهجرة الجلد Epidermis هى الطبقة الخارجية وهى مكونة من غشاء طلائي لحماية الأنسجة الداخلية من الكائنات الدقيقة كما تقوم بحمايتها من فقد الماء لذلك نجد أن بشرة الجلد تتكون من عدة طبقات من الخلايا تكون الطبقات السطحية منها خلاياها مفلطحة ومتصلة ببعضها بإحكام حيث تقاوم بأكبر قدر ممكن مسامية الجلد، كما أن خلايا الطبقة السطحية يحدث لها عملية تقرر Keratinization وهى عملية تصلب وموت للخلايا كنتيجة لإفصال هذه الخلايا عن المورد النمو وذلك تقوم هذه الخلايا بحماية الجسم ومنع فقد الماء كما تحمى الجسم من أثر الحساسية والأم الإحتكاك (لاحظ عند حدوث كشط فى الجلد فإنه لا تستطيع لمس الطبقة الداخلية لأنها خلايا حية) كما تكون هذه الخلايا خط دفاع قوى ضد عبور الكائنات الدقيقة. -٢- ومثال آخر هو وظيفة السهضم والإمتصاص مثل إفراز إنزيمات من غدد متخصصة للمساعدة فى هضم الطعام وإيضاً إمتصاص الغذاء عن طريق الطبقة الطلائية المبطنه للأععاء الدقيقة والتي تتكون من طبقة واحدة من خلايا عمادية ولها كثافة عالية فى إمتصاص العناصر الغذائية بالإضافة إلى تحور هذه الخلايا تحور تركيبى لزيادة كفاءة عملية الإمتصاص حيث تحتوى أسطح هذه الخلايا على إتثناءات لزيادة مسطح الإمتصاص والتي تسمى الخميّلات الدقيقة Microvilli وهذه تزيد بدرجة ملحوظة مساحة سطح الخلايا التى تقوم بالإمتصاص مما يزيد كفاءة عملية الإمتصاص نفسها. -٣- تقوم الأنسجة الطلائية بإنتاج حركة تيارات خاصة من هذه الحركة -أ- حركة الأهداب الموجودة على أسطح الخلايا المبطنه للتصبة البوانية حيث تدفع الأتربة والرمال والمواد الضارة إلى الخارج. -ب- حركة الأهداب الموجودة على أسطح الخلايا للطلائية المبطنه لقناة المبيض والتي تساعد على توصيل الحيوان المنوى من مكان القذف إلى مكان الإخصاب حيث توجد البويضه. -ج- تيار الحركة الذى ينتجه النسيج الطلائى بحدار المثانة البولية أثناء عملية طرد البول. -٤- التكاثر Reproduction فالحيوانات المنوية والبويضات (الجاميطات) ناتجة من النسيج الطلائي المكون للجاميطات. -٥- إستقبال الإحساس عن طريق إستقبال المنبهات من البيئة الخارجية المحيطة بالإنسان أو الحيوان. -٦- الإفراز الخارجى

Excretion حيث يفرز العرق مثلاً من الغدد العرقية وكما ذكرنا فالغدة حبارة عن إنبعاث من الخلايا الطلائية وأهم فائدة للعرق هي المحافظة على الإيزان الداخلي لدرجة حرارة الجسم Body temperature homeostasis كما تقوم الغدد الدهنية بإفراز دهون تساعد على ترطيب الجلد والمحافظة عليه ليافاً وإيضاً إفراز للعاب من الغدد اللعابية... الخ. -٧- الإفراز الداخلي **Endocrine secretion** حيث تقوم الخلايا الطلائية المكونة للغدد الصماء Endocrine glands بإفراز مواد كيميائية عضوية تسمى هرمونات Hormones هذه الهرمونات تؤدي في مجملها وظيفة هامة وهي المحافظة على الإيزان الداخلي Homeostasis للجسم.

٢- النسيج الضام Connective Tissue : الأنسجة الضامة تربط الأنسجة ببعضها ولذا فهي توجد في كل أعضاء الجسم. كذلك فالعضلات والعظام هي عبارة عن نسيج ضام. لذلك فالنسيج الضام يكون الهيكل العظمي Skeleton وهناك عدة أنواع من الأنسجة الضامة وجميعها تتكون من خلايا بنسب متفاوتة مع المادة بين الخلايا (أو بمعنى آخر أن النسيج الضام يتكون من خلايا وألياف منفسمة في مادة بين خلوية Extracellular matrix ولكن بنسب متفاوتة حسب نوع النسيج). وسوف نعرض بإذن الله لمناقشة نوعين من الأنسجة الضامة هما : أ- الأنسجة الضامة الحقيقية أو الأصلية. ب- الأنسجة الضامة المتخصصة.

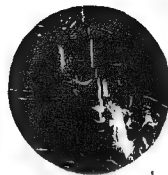
أ- النسيج الضام الحقيقي (أو الأصل) Connective Tissue Proper : وهو مكون تركيبياً هام يدخل في تركيب العديد من أعضاء الجسم ويوجد منه نوعان هما ١- النسيج الضام الكثيف ٢- النسيج الضام المفلك أو قد يسمى المتحرك أو السائب.

١- النسيج الضام الكثيف Dense Connective Tissue : ومعلمه عبارة عن ألياف ضامة كثيفة مثل الأنسجة الضامة الموجودة في الأربطة Ligaments والأوتار Tendons (شكل ٨-٦). وهو عبارة عن نسيج قوى حيث يقوم بربط للعظام مع بعضها عند المفاصل، كما أنه دعامة قوية لعظام المفاصل. ويجدر الإشارة أيضاً أن أدمة الجلد Dermis عبارة عن نسيج ضام كثيف يربط بشدة العضلات والعظام للواقعة أسفل الجلد.

٢- النسيج الضام المفلك (أو المتحرك) Loose Connective Tissue : يعتبر أقل كثافة وقوة من النسيج الضام الكثيف وهو عبارة عن شبكة غير كثيفة من الألياف بوضاء Collagen والألياف صفراء أو مرنة Elastic وينتشر عديد من الخلايا بداخل هذه الشبكة للغير كثيفة (شكل ٨-٦). ويتكون هذا النسيج حول الأوعية الدموية وأيضاً يربط خلايا العضلات الهيكلية مع بعضها. وجدير بالذكر أن الاختلاف الرئيسي بين النسيج الضام الكثيف والمفلك يكون في نسبة الخلايا إلى الألياف حيث يحتوى النسيج الضام الكثيف على ألياف أكثر بكثير من النسيج الضام السائب.



ب
نسيج ضام سائب
Loose connective tissue



ا
نسيج ضام كثيف
Dense connective tissue



ج
غضروف
Cartilage



ب
نسيج ضام كثيف
Dense connective tissue



ا
نسيج ضام سائب
Loose connective tissue



د
دم
Blood



هـ
عظام
Bone



د
نسيج دهني
Adipose tissue

شكل (٨-٦) : أعلام الصفحة للنسيج الضام للكثيف أ، والمسابب ب كما يرى تحت الميكروسكوب الضوئي. أسفل تحت أنواع للنسيج الضام ا- مسابب ب- كثيف ج- غضروف د- نسيج دهني هـ- عظام و- دم.

هذا وتحتوى الأنسجة الضامة على خلايا منتجة للكلايف **Fibroblasts** حيث تقوم بإصلاح النكف الناتج في أنسجة للجسم، فبعد جرح الجلد تهاجر هذه الخلايا إلى للمنطقة المصابة لتنتج شبكة من الليف الكولاجين التي تقوم بقتل الجرح ثم تنمو البشرة فوق المنطقة المصابة مسببة إكتمال إنتظام الجرح دون ترك أى ندبة Scar إذا كان الجرح صغيراً ولكنها قد لا تتمكن من تغطية كل الجرح إذا كان كبيراً فتترك ندبة. وتحتوى الأنسجة الضامة المتحركة على عدة أنواع من الخلايا تحمي الجسم من الهجوم الفيروسي أو البكتيري حيث أنها تحتوى على خلايا ملتهمة كبيرة **Macrophages** هذه الخلايا تحتوى على ليسوسومات تقوم بهضم المواد التي تلتهمها هذه الخلايا بعد دخولها من الجروح إلى الأنسجة الضامة الداخلية كما أن لها دور هام كبير في الوقاية للمناعة. هذا ويحتوى النسيج للضام المتحرك على عدد كبير من الخلايا الدهنية وهي مختصة بتخزين وهدم الدهون وتتجمع مع بعضها لتكون نوع متحور من النسيج السائب (المتحرك) وهو النسيج الدهنى **Adipose tissue** (شكل ٨-٦). وتكثر كمية هذا النسيج في المرأة أو الفرد البدين (السمين)، وتقع أهميته في أنه يشكل طبقة عازلة للجسم ويعتبر مخزن للطاقة الحرارية حيث يستعمل في حالة قلة الغذاء ويستخدم أيضاً لمليء الفراغات الموجودة بين أعضاء الجسم وأجهزته ويذا يعمل كوسادة ناعمة لها، وخلايا النسيج الدهنى تحتوى بداخلها على حبيبة دهن كبيرة على حساب السيترولازم، وعملية التخسيس أو إنقاص وزن الجسم هى عبارة عن التخلص من هذه الدهون سواء عن طريق إنقاص كمية الغذاء المأكول أو عن طريق بذل المجهود أثناء التمارين الرياضية أو عن طريق شفط الدهون **Liposuction** ويعتبر هذا حل نسبى لكن له مخاطره وقد تكون هذه المخاطر ضارة بدرجة كبيرة إذا لا ينصح باستخدامه. هذا وغالباً ما تترسب الدهون في الأرداف والأفخاذ والبطن. وجدير بالذكر أن الأنسجة الضامة المتحركة تحتوى أيضاً على خلايا متحركة تدخل إليها من الدم مثل الخلايا الليمفاوية **Lymphocytes** والخلايا المتعادلة **Neutrophils** التي تلعب دوراً هاماً في حماية الجسم من الكائنات الغريبة.

ب- الأنسجة الضامة المتخصصة **Specialized Connective Tissues** :

الأنسجة الضامة المتخصصة عبارة عن ثلاثة أنواع هي : ١- الغضاريف ٢- العظام ٣- الدم.

١- الغضاريف **Cartilage** : عبارة عن أنسجة ضامة هيكليّة (متخصصة) مائلة للزرقة وهي أنسجة صلبة نوعاً ما ولكنها على جانب من المرونة لدرجة الإكتناء وتشكل الجزء الأكبر من جسم الجنين في الحورليات القلبية بما فيها الإنسان، كما أن هناك أنواع من الأسماك وهى الأسماك الغضروفية يتكون هيكلها بالكامل من الغضاريف. ولتلاءم فترات النمو فى الإنسان والحيوان لا تقلل هذه الغضاريف، لكن عند تمام النمو تتحول هذه الغضاريف إلى عظام فيما عدا بعض المناطق التي تستمر غضروفية ولا تقلل كما في القصبة الهوائية والأنف وميرون الأذن.

ويتكون الغضروف (شكل ٨-٧) من خلايا غضروفية Chondrocytes مغرسة Embedded في مادة بين خلوية وفيرة تسمى المادة الخلالية أو البينية Matrix. وتنظم هذه الخلايا في مجموعات أنغية أو أكثر مما يسبب زيادة تملك النسيج. وخلايا الغضروف هي التي تسبب عن طريق انقسامها زيادة طول وعرض العظام. والخلايا الناتجة من الانقسام تظل ملاصقة للخلايا المنقسمة وتحيط بها غاية أو أكثر جراب أو غلاف أو محفظة تظهر الخلية للغضروفية أو مجموعة الخلايا ساج فيها. وتحاط كل أنواع الغضاريف غالباً بطبقة كثيفة من النسيج الضام الغير منتظمه تسمى غلاف الغضروف Perichondrium. وتحتوى هذه الطبقة على أوعية دموية Blood vessels والتي تقوم بمد خلايا الغضروف بالعناصر الغذائية من طريق الانتشار. وحيث أن هذه الشعيرات الدموية بعيدة لذلك فإن الغضاريف المصابة تتدمر ببطء شديد لذا فإن إصابة غضروف فى مفصل يحتاج لعدة سنوات لإصلاحه.

هذا وتقسم الغضاريف تبعاً لتركيبتها في جسم الإنسان أو الحيوان إلى ثلاثة أنواع (شكل ٨-٧) هي الغضروف الزجاجى والليفى والمرن.

أ- الغضروف الزجاجى Hyaline Cartilage : (شكل ٨-١٧) وهو أكثر أنواع الغضاريف إنتشاراً ويحتوى على ألياف كولاجينية عديدة تبدو بيضاء للعين المجردة. والغضاريف الزجاجية توجد في مناطق عديدة منها : ١- في نهايات عديد من العظام لتقليل الاحتكاك Abrasion الذى يحدث أثناء الحركة ٢- تكون الغضاريف الزجاجية المادة المرنة في الأنف كما توجد أيضا الغضاريف الزجاجية في الحنجرة وفي حلقفت القصبة الهوائية الموجودة أسفل الحنجرة. ٣- كذلك فالغضاريف للزجاجية تكون نهايات الضلوع المتصلة بعظمة القص في الصدر.

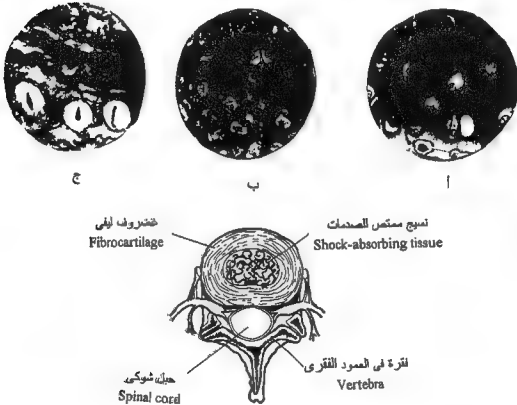
والمادة الخلالية في الغضروف الزجاجى شفاقة راتقة وهو غضروف صلب لكنه يظهر شئ من المرونة تسمح بمرور الأوعية الدموية من خلاله لتغذية الأنسجة المجاورة (لاحظ أن هذا استثناء إذ أن الأوعية الدموية لا تدخل للغضروف).

ولتثناء التطور الجنينى يتكون الهيكل العظمى للجنين أولاً من غضاريف زجاجية ثم يتحول معظمه أثناء مراحل النمو المختلفة فيما بعد إلى عظام.

ب- الغضروف المرن Elastic Cartilage : (شكل ٨-٧ب) وهو غضروف مماثل للغضروف الزجاجى لكنه يحتوى على ألياف متموجة صفراء عديدة تعطيه مرونة أكبر. وتوجد هذه الغضاريف في المناطق التى تحتاج إلى الدعم والمرونة كما في غضاريف الأنف والأذن وقنوات إستاكوس (القنوات السمعية Eustachian tubes) التى تعمل على معادلة الضغط في الأذن الداخلية.

ج- الغضروف الليفي (Fibrocartilage or Fibrous Cartilage) : هذه الغضاريف

هي أكل أنواع الغضاريف وجوداً (شكل ٨-٧) وهي تحتوي على عدد أقل من الخلايا بالمقارنة بالأنواع الأخرى من الغضاريف كما تحتوي المادة الليبية فيها على حزم أكثر من ألياف الكولاجين البيضاء. والغضاريف الليبية في الأكراس بين الفقرات Intervertebral disks وهي الأنسجة التي تمتص الصدمات بين الفقرات في عظام العمود الفقري. ويتكون القرص بين الفقرات (شكل ٨-٧د) من منطقة مسطوية لينة تعمل كوسادة تمتص الصدمات، ويكون الغضروف الليفي حول الجزء الوسطي من القرص حلقة ويثبت في مكانه. هذه الحلقة عندما تضعف أو تتمزق تضغط على الأعصاب كما تسمح للجزء الأوسط من القرص أن يبرز أو يفتق وتسمى هذه الحالة بالإنزلاق الغضروفي Slipped disk أو التمزق الغضروفي Herniated disk وهذه الحالة تسبب آلام شديدة في العنق أو الظهر أو في أحد أو كلا من الأرجل تبعاً لمكان القرص المصاب وسبب هذه الآلام هو كما ذكرنا ضغط القرص على أحد الأعصاب القريبة.

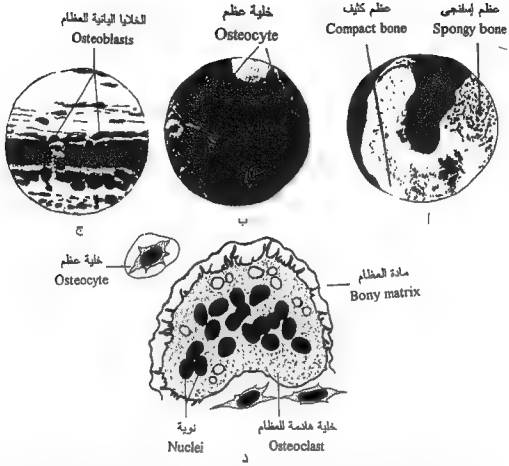


شكل (٨-٧) : صورة بالميكروجراف الضوئي للغضاريف أ- غضروف زجاجي ب- غضروف مرن ج- غضروف ليفي د- لقرص بين الفقرات Intervertebral disk

٢- العظام Bones : العظام عبارة عن أنسجة ضامة متخصصة تتميز بصلابتها بسبب وجود

أملاح للكالسيوم مثل فوسفات وكربونات الكالسيوم والمادة بين الخلايا Bone matrix. وعلى عكس ما يتبادر للذهن، فإن العظم ليس مجرد كتلة صلبة، بل هو بنية ديناميكية Dynamic، وهو يساعد على الدعم الداخلي للجسم وعلى حماية الأعضاء الداخلية مثل المخ والقلب والرئتين، بالإضافة إلى أن النسيج العظمي يلعب دوراً هاماً ورئيسياً في المحافظة على الإتران الداخلي لمستوى أيون الكالسيوم في الدم Calcium homeostasis حيث أن الكالسيوم هام وضروري لكثير من وظائف الجسم مثل إنقباض العضلات وتجلط الدم والوظائف الطبيعية للأعصاب وأيضاً فهو كما ذكرنا من قبل أنه يعمل كرسول ثانى Second messenger لبعض الوظائف البيولوجية على مستوى الخلية. وأثناء التطور الجنيني تنشأ العظام من طبقة الميزوديرم وعند تكوينها لا تكون بالصلابة التي نلّفها في العظام، لكن المادة البينية الموجودة بين الخلايا العظمية هي التي تمنح للعظام صلابتها حيث تتكون العظام من خلايا مطبورة في كمية وفيرة من المادة البينية. والمادة البينية في العظام تتكون أساساً من الألياف الكولاجينية وبلورات من أملاح معدنية Salt Crystals ليرة للشكل ومحتوية على كالسيوم وفوسفات وأيونات الهيدروكسيد حيث تتحد الألياف الكولاجينية وبلورات الأملاح لتعطى العظم خواصه التي يتميز ويفرّد بها. فالكولاجين يعطى للعظام خواص القوة والمرونة. بينما تمنح بلورات الأملاح للعظام خاصية الصلابة. وكلا من الكولاجين والأملاح لازم وضروري لوظائف العظم الطبيعية فبدون إزالة الأملاح من مادة العظام (تسمى هذه العملية بـ Demineralization) تكون عبارة عن هيكل كولاجيني مطاطي وهو المكتسب من العظام بعد إذابة الأملاح. أما العظام المزال منها الكولاجين فتكون عبارة عن مادة معدنية منه على شكل وهنية العظام. ويوجه عام فهناك نوعان من النسيج العظمي هما : أ- النسيج العظمي الكثيف ب- النسيج العظمي الإسفنجي.

أ- النسيج العظمي الكثيف Compact Bone : هذا النوع من العظام كثيف وصلب وتقع فيه خلايا العظام في حلقات متحدة المركز Concentric rings تعرف بمجاميع هافرس من المادة العظمية البينية التي تحيط بالقناة الوسطية Central canal (شكل ٨-٨) ويعرف هذا الترتيب بجهاز هافرس. هذا وتحتوي هذه القنوات الوسطية Central channels على أوعية دموية وألياف عصبية. وكما هو موضح (بالشكل ٨-٨) يحتوي العظم الكثيف على خلايا عظمية Osteocytes وكل خلية عظمية لها زوائد عديدة تمتد خلال القنوات الدقيقة الموجودة في المادة البينية للعظام. وهذه القنوات عبارة عن طريق مرور العناصر الغذائية من القناة الوسطية إلى الخلايا العظمية، كما أنها تشمل أيضاً كطريق لمرور نواتج الهدم عكسياً من الخلايا العظمية إلى الأوردة في القناة الوسطية Central canal.



شكل (٨-٨) : الشكل يوضح أ- قطاع في العظام الكثيفة والنظام الإسفنجية في ب- صورة ضوئية بالميكروجراف للعظام الكثيفة -ج- صورة بالميكروجراف للعظام الإسفنجية تظهر فيها خلايا العظام. -د- صورة لخلايا العظام الملتصقة وهي قد هضمت جزء من العظام.

ب- النسيج العظمي الإسفنجي Spongy Or Cancellous Bone معظم عظام الجسم تحتوى في نهاياتها على هذا النسيج خاصة العظام الطويلة (شكل ٨-٨ أ) ويحتوى هذا النسيج على فراغات عظمية واسعة تتميز بها حواجز عظمية متشابكة من أحجام وأشكال مختلفة (هذه الحواجز تعتبر بمثابة الإنشاءات الخرسانية في المبني) تكسب العظام المناعة والقوة ومقاومة التغيرات في الشكل. ويتكون النسيج العظمي الإسفنجي من شبكة من أشواك الكولاجين المتكلسة وعلى سطح هذه الأشواك توجد الخلايا التي تقوم ببناء العظام Osteoblasts وتسمى الخلايا البانية للعظام، وعندما تنقسم هذه الخلايا البانية في المادة البينية Bone matrix تسمى في هذه الحالة بالخلايا العظمية Osteocytes. وتوجد تجاويف صغيرة غالباً ما تتصل مع تجاويف أبوبوية الشكل في سلاق (مركز)

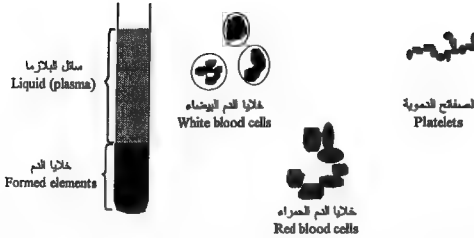
العملة وقد تملأ هذه التجاويف في بعض الأحيان بمادة دهنية وتسمى نخاع العظام الأصفر Yellow marrow. وفي عظام أخرى تملأ التجاويف الكبيرة والصغيرة بخلايا دموية وكذلك بالخلايا التي سوف تكون خلايا دموية كبيرة مكونة نخاع العظام الأحمر Red marrow.

كما يوجد على أسطح بعض الأضلاع العظمية بالعظم الإسفنجي خلايا كبيرة متعددة الألوية تقوم هذه الخلايا بهدم العظام وتسمى الخلايا الهادمة للعظام Osteoclasts (شكل ٨-٨). هذه الخلايا تعتبر أحد العوامل المسؤولة عن الإتران الداخلي Homeostasis لأيون الكالسيوم (Ca^{++}) في الدم. فعند نقص تركيز أيون الكالسيوم في الدم يزداد إفراز هرمون الغدد جارات الدرقية Parathyroid hormone (PTH). هذا الهرمون ينشط الخلايا الهادمة للعظام Osteoclasts حيث تقوم بهضم البروتينات الصغيرة بالعظم الإسفنجي مما يؤدي إلى إفراز أيون الكالسيوم إلى مجرى الدم. بذلك تعود حالة الإتران الداخلي Homeostasis لأيون الكالسيوم في الدم. أما في حالة زيادة تركيز يون الكالسيوم في الدم فإن هرمون آخر يفرز من خلايا C بالفدة الدرقية C cells يسمى كالسيتونين Calcitonine. هذا الهرمون يقوم بتنشيط إعادة أيون الكالسيوم للعظام مرة أخرى.

وجدير بالذكر أنه تحدث صلية إعادة تشكيل Remodling للعظم الإسفنجي عند تعرض العظام للضغط مثل ممارسة الرياضة. فعند البدء في ممارسة الرياضة يعاد تشكيل العظام لتوائم تحمل هذه الضغوط الجديدة. فتقوم الخلايا الهادمة للعظام Osteoclasts بهدم بعض من العظم الإسفنجي في حين تقوم في نفس الوقت الخلايا البانية للعظام Osteoblasts ببناء عظم إسفنجي جديد في أماكن تلتئم الضغوط الجديدة بحيث تستطيع العظام تحملها وبذلك تتكون عظام أقوى. (أي تم إعادة تشكيل العظام Bone remodling بطريقة تجعلها أقوى من حالتها السابقة). ثم إذا ترك الفرد للرياضة بعد ذلك تعود العظام لحالتها الأصل قوة السابقة.

٣- الدم Blood : يستقر الدم بصورة من صور النسيج الضام المتخصص. ويتكون الدم من جزئين أو مكونين وهما خلايا الدم وتمثل حوالي ٤٥% وكمية كبيرة من سائل خارج الخلايا تسمى بلازما الدم Blood plasma وتمثل حوالي ٥٥% وهو عبارة عن سوائل وغيرة تسبح فيها خلايا الدم (شكل ٨-٩).

والجزء الغلوي من الدم يتكون من كريات الدم الحمراء Erythrocytes وتسمى أيضا خلايا الدم الحمراء Red blood cells (RBCs) وخلايا الدم البيضاء White blood cells (WBCs) والصفائح الدموية Platelets. وخلايا الدم الحمراء مسؤولة عن التبادل الغازي فهي تحمل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون من وإلى الرئتين. أما خلايا الدم البيضاء فهي مسؤولة عن مقاومة للجسم للعدوى.



شكل (٨-١): الشكل يوضح أن الدم يتكون من ٥٥% سائل البلازما و ٤٥% خلايا الدم ومسى خلايا الدم البيضاء والحمراء والصفيحات الدموية.

أما الصفيائح الدموية فهي عبارة عن أجزاء من خلايا كبيرة *Megakaryocytes* توجد في المكان الرئيسي لتكوين خلايا الدم (وهو نخاع العظام الأحمر). وهي ليست خلايا لأنها فقدت الأنوية وكل العضيات الخلوية (الأجزاء من خلايا لا تحتوي على أنوية ولا على عضيات ميتوكوندرية *Organelles*) ولهذه الصفيائح الدموية دور رئيسي في عملية تجلط الدم.

٣- النسيج العضلي **Muscular Tissue** : هذا النسيج يوجد في كل أجزاء الجسم

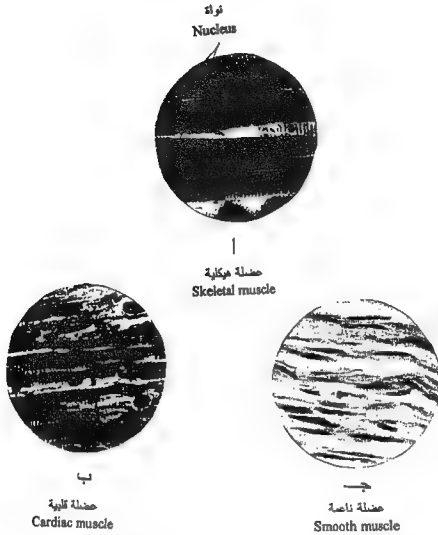
تقريباً وهو له القدرة على الانقباض عند تنشيطه (أي هو قابل للتهيج *Excitable*) ووظيفة هذا النسيج أو بمعنى آخر وظيفة العضلات تتلخص في الآتي : -أ- تقوم بتحريك كل أجزاء الجسم. -ب- تدفع الغذاء من البلعوم وعلى طول القناة الهضمية حتى طرده من فتحة للشرح. -ج- انقباض عضلات الرحم بسبب خروج الجنين عند الولادة. -د- انقباض القلب بسبب ضخ الدم في الأوعية الدموية (ويلاحظ أن القلب يضخ هذا الدم في الإنسان مثلاً لمسافة ٨٠ ألف كيلو متر لأن طول هذه الأوعية الدموية لو تراصت بجوار بعضها يبلغ ٨٠ ألف كيلو متر في جسم الإنسان) -هـ- العضلات مسؤولة أيضاً عن الحركات الدقيقة مثل اللعب على العود أو البيانو أو إصلاح الأجهزة أو تحريك العينين والقفز. هذا وتحتوي الخلايا العضلية على خيوط دقيقة من البروتين الانقباضى هذه الخيوط هي خيوط الأكتين وخيوط الميوسين. وعند تنشيط العضلة تنزلق هذه البروتينات داخل بعضها مؤدية إلى قصر العضلة والانقباض. (سوف نتحدث بإذن الله عن ذلك تفصيلاً في باب الجهاز العضلي).

ويوجد في جسم الإنسان والحيوان ثلاثة أنواع من العضلات تختلف . عن بعضها في التركيب والموقع والوظيفة وهي : أ- العضلات الهيكلية. ب- العضلات القلبية -ج- العضلات الناعمة (اللمساء).

أ- العضلات الهيكلية **The Skeletal Muscles** : وهي عضلات إرادية Voluntary muscles وهي تكون معظم عضلات الجسم وسميت هيكلية لأنها كثيراً ما تتصل بالهيكل العظمي وعند انقباض هذه العضلات تسبب تحريك أجزاء الجسم وخلايا العضلات الهيكلية عبارة عن خلايا إسطوانية طويلة تكونت خلال مراحل التطور الجنيني عن طريق اندماج عدد من الخلايا العضلية الجنينية. ولذا فإن الخلايا العضلية الهيكلية تحتوي كل واحدة منها على عديد من الأنوية وأيضاً فهي بالتالي تسمى ألياف عضلية Muscle fibers. وعادة ما تضغط أنوية هذه الخلايا إلى الغشاء الخلوي Plasma membrane وذلك بسبب زيادة كثافة الخيوط المتقوسة في سيتوبلازم الخلية (الليف). وهذه الألياف العضلية العالية للتخصص لا تستطيع الانقسام ولذلك فإن الخلايا العضلية المصابة لا يمكن تعويضها. هذا وتحت المجهر الضوئي تظهر الخلايا العضلية الهيكلية مخططة Striated or banded (شكل ٨-١٠ أ) وهذه الخيوط سببها وجود تركيب متميز لخيوط الأكتين والميوسين داخل الخلايا العضلية بالإضافة إلى زيادة كثافة هذه الخيوط الدقيقة مما يعطي للعضلة شكلها المخطط ولذا فبعض العلماء يسمونها بالعضلات المخططة Striated muscles.

ب- العضلات القلبية **Cardiac Muscles** : هذه عبارة عن عضلات مخططة مثل العضلات الهيكلية لكنها عضلات لا إرادية الانقباض (شكل ٨-١٠ ب). وهذه العضلات موجودة فقط في جدار القلب حيث تتفرع وتتصل مع بعضها بإحكام مما يساعد على الحفاظ على الوحدة التركيبية للقلب. ونقط اتصال عضلات القلب مع بعضها تستخدم كطرق أو مسارات لتوصيل الإشارات الكهربائية من خلية لأخرى مما يساعد على تنظيم انقباض عضلات القلب. وأحد أهم الفوائد التي تعود من الرياضة المنتظمة هو المحافظة على سلامة عضلات القلب.

ج- العضلات الناعمة (اللمساء) **Smooth Muscles** : هي عضلات لا إرادية الانقباض وسميت لمساء لعدم وجود خطوط واضحة فيها. والألياف الانقباضية توجد مبعثرة في سيتوبلازم خلايا هذه العضلات لذلك فهي غير منظمة بنفس طريقة العضلات المخططة. وخلايا العضلات اللمساء توجد إما منفردة أو في مجموعات صغيرة. ومثالاً لذلك توجد حلقات صغيرة من خلايا العضلات اللمساء محيطة بالتهاليف الدقيقة للشعيرات الدموية بالجهاز الهضمي. وعند انقباض هذه الخلايا أو العضلات فهي تنقبض أو تلتصق ويزداد الدم للتسج التي تغطيها. أما بالنسبة لعضلات جدار الأعضاء مثل عضلات



شكل (٨-١٠) : صورة ضوئية بالميكروجراف للثلاثة أنواع من العضلات أ- العضلات الهيكلية ب- العضلات القلبية ج- العضلات الناعمة.

المعدة والرحم فعاليا ما تتركب هذه العضلات للمساء في صورة طبقات Sheets في جدران هذه الأعضاء. ووظيفة خلايا العضلات للمساء في جدار المعدة أنها تسبب خضض (رج منتظم) الغذاء وخلص محتويات المعدة ودفع دفعات قليلة من الغذاء المشبه سائل (الكيموس) إلى الأمعاء الدقيقة. وأيضا فإنقباض العضلات للمساء يسبب دفع الغذاء على طول القناة الهضمية. أما إنقباض العضلات للمساء في جدار الرحم فهو يسبب طرد الجنين أثناء عملية الولادة مثلا.

٤- النسيج العصبي The Nervous Tissue :

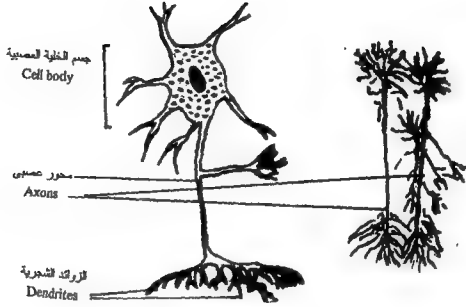
النسيج العصبي يشمل نوعين من الخلايا هما : أ- الخلايا العصبية Nerve cells or Neurons أو قد تسمى الخلايا الموصلية Conducting cells ب- الخلايا الداعمة Supportive cells أو قد تسمى Glia cells.

أ- الخلايا العصبية (الموصلية) Neurons : وهي خلايا حدث بها تحورات سيولوجية بحيث أصبحت لها المقدرة على الاستجابة للمنبهات (خلايا يحدث بها تهيج عند تنبيهها)، ثم أن لها المقدرة أيضا على إنتاج نبضات كهربائية حيوية Bioelectric impulses والتي تنقلها من منطقة لأخرى في الجسم. وهنا يجدر الإشارة إلى خاصيتين هامتين وهما : ١- خاصية التهيج Irritability : وهي المقدرة على الاستجابة للتنبيه وهي خاصية موجودة في كل الكائنات الحية. ٢- التوصيل Conductivity : وهي القدرة على نقل رسالة معينة وهي موجودة أيضا في كل الكائنات الحية. والخاصيتان السابقتان يسمحان للاتصال والحيوان بالارتباط مع البيئة المحيطة بهما وإدراك هذه البيئة سواء كانت بيئة خارجية (خارج جسم الإنسان أو الحيوان) أو بيئة داخلية (وهي التفاعلات البيوكيميائية التي تحدث بالجسم).

وفي جسم الإنسان أو الحيوان يوجد عدة أنواع من الخلايا العصبية (شكل ٨-١١). وجميع هذه الخلايا العصبية تحتوي على نوعين من الألياف العصبية أحدهما تنقل التنبيهات إلى جسم الخلية العصبية والأخرى تنقل التنبيهات بعيدا عن جسم الخلية العصبية. وللنوع الشائع من الخلايا العصبية هو الخلية العصبية عديدة الأقطاب Multipolar neuron (شكل ٨-١١) وتحتوي على جسم كبير للخلية متعدد الزوايا وعلى العديد من الألياف العصبية القصيرة عالية التفرع تسمى الزوائد الشجرية Dendrites وتقوم بنقل الإشارة العصبية إلى جسم الخلية. بالإضافة إلى ذلك يتصل بجسم الخلية العصبية زائدة سيتوبلازمية كبيرة وسميكة تسمى المحور Axon وهو الذي ينقل الإشارة العصبية بعيدا عن جسم الخلية.

وكما ذكرنا في الخلايا العضلية بأنها لا تستطيع الانقسام فالخلايا العصبية أيضا عالية التشكل ويغيب فيها الجسم المركزي عند عمر معين إذا فُقد هذا العمر لا تستطيع الخلايا العصبية الانقسام وبالتالي لا يمكن تعويض الخلايا العصبية التي تتلف منها.

لكن المحور العصبي Axon المقطوع يمكن إعادة تكوينه إلى حد ما بتكوين محور جديد. هذا المحور Axon الجديد قد يعيد الاتصالات السابقة أو قد ينمو ليتصل بعيدا عن مكانه السابق ويعيد بعض درجات الإحساس والتحكم في العضلات. وقد يتمكن الباحث في المستقبل بإذن الله من إيجاد



شكل (٨-١١) : الشكل يوضح غلما عصبية جديدة الأكلاب.

وسيلة لتنشيط إعادة تكوين الخلايا العصبية. وبالتالي يسهل على الأطباء معالجة ضحايا الحوادث وخلافه بإعادة الوظائف العصبية لهم.

ب- **الخلايا الداعمة Glia or Supportive Cells** : الخلايا الداعمة للجهاز العصبى عبارة عن نوع من نسيج ضام للجهاز العصبى وليس لها القدرة على نقل الإشارات (النضات) العصبية لكنها تساعد فى نقل العناصر الغذائية من الأوعية الدموية إلى الخلايا العصبية، كما أنها تساعد أيضا على الحماية ضد السموم عن طريق خلق حاجز لعديد من المواد السامة المحتملة ضررها. والخلايا العصبية والخلايا الداعمة يتحدان معا لتكوين المخ Brain والحبل الشوكى Spinal cord وأعصاب الجهاز العصبى.

الخلايا تتحد لتكوين الأنسجة والأنسجة تتحد لتكوين الأعضاء والأعضاء تعمل مع بعضها فى مجموعات تسمى الأجهزة العضوية : الخلايا تحتوى على عضيات خلوية دقيقة Organelles وبعض هذه العضيات تقوم بوظائفها مستقلة عن سيتوبلازم الخلية للنشاط كميوتوسا، وأحيانا فهناك أعضاء Organs فى الجسم تقوم بوظائف خاصة مثل الهضم وإنتاج البروتينات والوظيفية مثل الإنزيمات والهرمونات. ومعظم أعضاء الجسم لا تعمل بمفردها بل كل مجموعة من الأعضاء تعمل مع بعضها فى وظيفة معينة لتكون ما يسمى بالأجهزة العضوية Organ systems كما هو الحال فى الجهاز الهضمى مثلا فهو يتكون من مجموعة أعضاء (كبد، بنكرياس، معدة، أمعاء ...الخ).

وفي بعض الأحيان تتصل مكونات الجهاز الواحد مع بعضها كما في حالة الجهاز الهضمي والجهاز البولي مثلا. وفي أحيان أخرى تنتشر مكونات الجهاز خلال الجسم كله كما في حالة جهاز الغدد الصماء (يوجد قصي للغة للدقيقة على جانبي القصبة الهوائية، أما الغدة الجاركلوية فتوجد واحدة فوق كل كلي من الكليتين ومعروف مكان الخصيتين والمبيضين....الخ). وبعض أعضاء الجسم تتبع أكثر من جهاز فمثلا البنكرياس يتبع الجهاز الهضمي (لأنه يصب إفرازاته من الإنزيمات الهاضمة في الأمعاء) كما يتبع أيضا جهاز الغدد الصماء فهو يقوم بإفراز هرمونات الإنسولين والجلوكاجون والسمواتوستاتين. ولذا فالبنكرياس يعتبر غدة صماء وغدة خارجية الإفراز في نفس الوقت. ولا يعنى وجود أجهزة مختلفة بالجسم أن هذه الأجهزة تعمل منفصلة عن بعضها بل هذه الأجهزة في تعاون تام مع بعضها لمصلحة الكائن الحي، فهي تتداخل في وظائفها وتعتمد على بعضها، ولو حدث خلل في أى منها يؤثر على باقي الأجهزة. خذ مثلا لو حدث خلل في الكليتين (فشل كلوي) فلا يستطيع الجهاز البولي في هذه الحالة إنبابة اليوريا وإخراجها وبالتالي سوف ترتفع نسبته في الدم الأمر الذي يحدث تسمم للخلايا وأعضاء الجسم الأخرى مما يسبب الوفاة إذا لم يتم تدارك الحالة بعمل ضيق كلوي مثلا.

أساسيات الإتران الداخلي Principles Of Homeostasis : الإتران الداخلي Homeostasis يمكن تعريفه على أنه المحافظة على الحالة الطبيعية (الثبات النسبي) لمكون ما داخل الجسم (سواء داخل الخلية أو خارجها) أو في البيئة المحيطة للفرد وبالتالي فالتوازن الداخلي يحدث عدة مستويات مختلفة، في الخلايا وفي الأنسجة وفي الأعضاء وفي أجهزة الأعضاء، وأيضا في البيئة المحيطة Surrounding environment بهذه الأتراء وأجهزة التوازن الداخلي على كل المستويات من التنظيم البيولوجي لها خصائص مشتركة نذكر منها ما يلي: ١- تحافظ هذه الأجهزة على إتران البيئة الداخلي عن طريق التنظيم الرجعي السالب Negative feedback mechanism وفي هذا النظام تؤدي الإستجابة إلى إلغاء المنبه الذي أنشأ الإستجابة ومثالا لذلك أن هرمون النمو Growth hormone (GH) بسبب زيادة سكر الدم وزيادة سكر الدم الناتجة تثبط إفراز الهرمون عن طريق عملها على الأمكن التي تسببت في إفرازه. ٢- كل التنظيمات الرجعية السالبة تتكون أى منها من مكونين على الأقل، وهما جهاز إحساس Sensor أو قد يسمى مستقبل Receptor وهو الذى يرصد ويأثر بالظروف المتغيرة ومفع Effector وهو الذى يستجيب. وفي المثال السابق نلاحظ أن الهرمونات السات تركس زيادة مستوى سكر الدم وتستجيب الغدة النخالية بإفراز الهرمون. ٣- كل التغيرات التي تحافظ على إترانها أجهزة التوازن الداخلي ليست ثابتة ثابت مطلق Absolute constancy لكنها ثابتة نسبيا أى تختلف في حدود ضيقة مثل درجة حرارة تحت اللسان في الإنسان

(الطبيعية بين ٣٦,٦°م إلى ٣٧,٢°م). ويحتوى جسم الإنسان على إنتاج حرارى داخلى خاص به وهو هدم الجلوكوز وجزيئات الدهن والبروتين إذا لزم الأمر. وصوماً فإن للتنفئة الداخلية للجسم تتم عن طريق التنظيم الرجعى السالب، فالخالية تهتم الجلوكوز لتكوين ATP وإثناء هذه العملية ينطلق جزء من الطاقة إلى الجسم ولذلك فإن كل خلية تعتبر منفعة تنبع منها الحرارة للخارج حيث تتوزع خلال الجسم بواسطة الدم. والمحافظة على بقاء درجة حرارة الجسم ثابتة نسبياً فهذا يتطلب الإتران بين كلا من فقد الحرارة Heat loss والإنتاج الحرارى Heat production. ففى الجو البارد يزداد فقد الحرارة من الجسم إلى البيئة المحيطة وبالتالي يقوم الجسم بعمل وظائف بيولوجية من شأنها زيادة الإنتاج الحرارى الداخلى فى الجسم عن طريق تناول له كميات أكبر من الطعام وزيادة معدلات قضم الغدائى لإنتاج الطاقة. والعكس فى الجو الحار حيث يزداد إفراز العرق حتى يتم فقد حرارة من الجسم. وللخلاصة أن الإتران الداخلى Homeostasis لدرجة حرارة الجسم فى الإنسان والحيوان يتم عن طريق الإتران الحادث بين فقد الحرارة والإنتاج الحرارى. -٤- أجهزة الإتران الداخلى تحافظ على الإتران الداخلى (الثبات النسبى) لمكون ما فى الجسم عن طريق مساواة المادة أو لشئ الداخلى أو العوامل الداخلة Inputs مع العوامل الخارجة Outputs وأفضل مثال لذلك لمنه كلنا كل يوم هو محتوى جسم الإنسان أو الحيوان من الماء. فالماء الكلى فى جسم الإنسان لتام للنمو يمثل حوالى ٧٠% من وزن الجسم وهذا الماء لا تزيد نسبته داخل الموسم الواحد (تزداد نسبته فى الصيف عن الشتاء). وينتج ذلك عن أن الفرد يشرب كمية من الماء تعادل الكمية التى فقدها. -٥- الأهمية النسبية لمسارات الإتران الداخلى المختلفة تعتمد على المادة التى نحن بصدها. فبالنسبة للمثال السابق (الماء) فإن الشرب من جانب Input والإخراج Output (عن طريق البول - العرق - البراز) من جانب آخر هى مسارات التوازن الداخلى الرئيسية. ومثال آخر بالنسبة لمستوى الحديد فى الدم، فالمعامل الأساسى لتحديد مستوى الحديد فى الدم هو الإمتصاص عن طريق الأمعاء. وعند نقص مستوى حديد الدم فإن الجسم يعيد التوازن عن طريق زيادة معدل الإمتصاص فى الأمعاء الدقيقة. -٦- قد يحدث خلل فى التوازن الداخلى عن طريق لازيادة أو النقص فى مكون ما سواء الداخلى أو الخارج. ومثالا لذلك العرق Perspiration الشديد (الغزير) ينتج عنه نقص شديد فى حجم الماء الكلى بالجسم (ما لم يعوض عن طريق الشرب) وإذا استمر فقد العرق بهذه الكميات الكبيرة دون تعويضه فإن ذلك يودى إلى الوفاة. وأيضاً الإسهال Diarrhea الشديد يودى إلى إستنزاف شديد لسوائل الجسم ولتلكه يسبب مخاطر كبيرة تؤدى للوفاة أحياناً. ومثال آخر وهو تناول ملح الطعام فى الأكل بنسب كبيرة يودى إلى موزان صوديوم موجب (الداخل أكثر من الخارج). وفى هذه الحالة تقوم الكليتين خلال ٤-٥ أيام

بالتخلص من كمية كلوريد الصوديوم الزائدة. لكن يبقى حوالي ٢-٣% زيادة في مستوى الصوديوم (الكمية التي لم تفرز في الأيام الأولى) مما يسبب في بعض الأحيان الإصابة بضغط الدم.

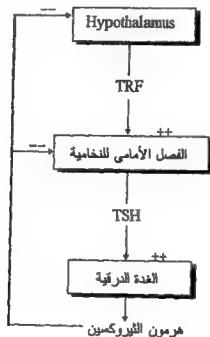
آليات التحكم في الإتران الداخلي Homeostatic Control Mechanisms : الإتران الداخلي هو عبارة عن سلسلة من العمليات التي تبدأ بالتنبه Stimulus وتنتهي بالاستجابة Response أي أنه فعل إنعكاسي Reflex وهذا الفعل الإنعكاسي لا إرادي أي لأنه بدون تنظيم مرتب لو مقصود. والإتران للدخل الإنعكاسي في جسم الإنسان أو الحيوان يشمل آليتين رئيسيتين هما : ١- إتران داخلي إنعكاسي عصبي (القوس إنعكاسية عصبية). ٢- إتران داخلي إنعكاسي كيميائي (التحكم الكيميائي).

القوس الإنعكاسية العصبية Nervous System Reflexes : القوس الإنعكاسي العصبي واضح تماماً ولنضرب مثال انخفاض درجة حرارة الجو يستقبله جهاز الاستقبال (جهاز الإحساس) وهي خلايا عصبية فتوصله للجهاز العصبي المركزي (Central nervous system (CNS) ويستجيب المخ والحبل الشوكي ليوازن هذا التغير في البيئة الخارجية فيقوم المخ بإرسال إشارات عصبية إلى العضلات الفاصلة للمغلة للأوعية الدموية الموجودة بالجلد فتتقبض Skin vasoconstriction وبالتالي يقل ورود الدم للأطراف فيقل التدفق الحراري، كما يرسل المخ إشارات عصبية أيضاً إلى عضلات الجسم فتحدث رجفة تسبب زيادة الإنتاج الحراري وتسمى هذه الأعضاء بالأعضاء المنفذة Effectors وذلك لأنها نفثت أوامر المخ.

٢- **التحكم الكيميائي Chemical Control :** هناك لقوس إنعكاسية أخرى يشترك في جزء من مسالكها هرمون أو أكثر وتسمى لقوس إنعكاسية هرمونية عصبية Neuroendocrine reflexes ومثال ذلك عند نقص هرمون الثيروكسين المفرز من الغدة الدرقية فإن ذلك ينبه الـهيبوثالامات في المخ لإفراز TRF (Thyroid stimulating hormone releasing factor) وهو العامل المنبه لإفراز الهرمون المنبه للغدة الدرقية، ويصل هذا العامل عن طريق الدم للقوس الأمامي للخامية فيقوم بإفراز Thyroid stimulating hormone TSH وهو الهرمون المنشط للغدة الدرقية حيث تقوم هذه الغدة بإفراز هرمون الثيروكسين، ثم يذهب هرمون الثيروكسين إلى الـهيبوثالامات لتنشيط إفراز TRF كما هو موضح بالشكل ٨-١٢.

فهرمون الثيروكسين بعد إفرازه من الغدة الدرقية يعود عن طريق الدم إلى منطقة بالمخ تسمى تحت المهاد (هيبوثالامات) ليقلل إفراز العامل للمنبب لإفرازه.

وهناك هرمونات أخرى تعمل بطريقة مستقلة (أى لا يتضمن عملها اتصال عصبى) مثل هرمون الغدة جارفت الدرقية (PTH) Parathyroid hormone فعند نقص أيون الكالسيوم Ca^{++} فى الدم ينبه ذلك الغدة جارفت الدرقية Parathyroid glands (وهى أربع غدد صغيرة تقع فى الرقبة) لإفراز هرمون PTH حيث يعمل هذا الهرمون على سحب الكالسيوم من العظام إلى الدم وبالتالى يعود أيون الكالسيوم فى الدم لمستواه الطبيعى، وعند زيادة أيون الكالسيوم فى الدم يقل طبيعى إفراز هذا الهرمون ويزداد إفراز هرمون آخر اسمه كالسيتونين Calcitonin هذا الهرمون يسبب سحب كالسيوم الدم وإعادته إلى العظام.



شكل (٨-١٩) : الشكل يوضح القوس الإنكسالى الهرمونى العصبى.

التنظيم الكيمىالى الموضعى Local Chemical Regulation : التنظيمات العصبية والهرمونية التى تعرضنا لها سابقاً جميعها تؤثر فى أماكن بعيدة فى الجسم عن مكان المؤثر الأول أو مكان إفراز الهرمون (الرسول الكيمىالى) حيث يحمل الدم الهرمون إلى الأعضاء المنقذة بعيداً عن مكان الإفراز. لكن فى بعض الحالات تقوم الخلايا بإفراز هرمونات أو رسائل كيمىائية تعمل تنظيم كيمىائى عن طريق المسائل بين الخلايا لمسافة خلية واحدة فقط. والمواد الكيمىائية التى تحدث أثر فى المناطق المحيطة (الخلايا المجاورة) تسمى **Paracrines** ومثالا لذلك هرمون الإنسولين **Insulin** فهو يفرز من خلية ويؤثر على خلية مجاورة مفردة لهرمون الجلوكاجون **Glucagon** والعكس

صحيح بالنسبة للجواكجن أيضا. ومثل آخر وهو عند حدوث جرح في الجلد تفرز خلايا الجلد نسي منطقة الإصابة عامل منشط يسبب إقسام سريع للخلايا ويسمى هذا العامل **Epidermal growth factor (EGF)** وبالتالي يسبب سرعة إلتئام الجرح. بالإضافة إلى ذلك قد تقوم الخلية بإفراز رسول كيميائي ينظم حمل الخلية نفسها ويسمى ذلك **Autocrine regulation** أى خلية لها إفراز له تأثير ذاتي عليها وهذه هي أحد أبسط الإستجابات الكيمائية في الجسم ومثالا لذلك هو هرمون الإستروجين **Estrogen** فهو يعمل على الخلية لتي أفرزته ليسبب زيادة مستقبلاته، ومثال آخر وهو بعض البروستاجلاندينات **Prostaglandines** تؤثر على الخلايا لتي أنتجتها كما تؤثر على خلايا مجاورة أيضا ولذا فهي تعتبر **Paracrine and autocrine**.

الساعات البيولوجية والتحكم في إيقاعات (نظم) الجسم الداخلية :

Biological Clocks And Controlling Internal Body Rhythms:

نكرنا من قبل أن هناك نظم أو إيقاعات بيولوجية تحدث داخل الجسم بنظام توقيت معين وثابت مثل إفراز الهرمون الذكري الجنسي التسترون **Testosterone** في الرجال فهو يتبع دورة كل ٢٤ ساعة حيث يصل لأقصى مستوى أثناء فترة النوم التي يحلم فيها الفرد والتي تحدث فى ساعات الصباح الباكر. وغيره من الأمثلة بالنسبة للدورة الشهرية للإناث وإفراز هرمون الإستروجين... الخ. وقد أظهرت الأبحاث أخيرا أن المخ يلعب دورا رئيسيا في تنظيم العديد من دورات الجسم البيولوجية **Biological cycles**. حيث تقوم النواة فوق التقاطع البصري **Suprachiasmatic nucleus** بتنظيم العديد من دورات الجسم البيولوجية كما أنها تنظم مناطق تحكم أخرى لذلك يسميها البعض الساعة الرئيسية **Master clock** (لاحظ أن النواة فوق التقاطع البصري عبارة عن كتلة من الخلايا العصبية في قاعدة المخ في منطقة تحت المهاد البصري والتي تسمى الهيبوثالامات **Hypothalamus**). والنواة فوق التقاطع البصري لها إيقاع متواصل خاص بها فهي تفرض تنظيمات معينة بدقة على الجسم وتبدأ وتنتهي صليات بيولوجية في الجسم في أوقات معينة محددة. وهذه النواة (الساعة الرئيسية) متأثرة بالطبع بتعاقب فترات الإضاءة والإظلام اليومية لكنها بالرغم من ذلك فهي تعمل بنفس النظام عند وضع الإنسان أو الحيوان في إظلام تام لكن للتغير الوحيد في هذه الحالة أنها تفرض دورة يوم طوله ٢٥ ساعة بدلا من ٢٤ ساعة وهناك إعتقاد سائد بأن البيئة التي يعيش فيها هي التي تتحكم فى الساعة الرئيسية (البيولوجية) عن طريق غدة في المخ تسمى الغدة الصنوبرية **Pineal gland** هذه الغدة بداخلها نظام إنزيمي يسمى **Hydroxy-Indol Methyl Transferase (HIOMT)** ينشط في الإظلام ويثبط عمله في الإضاءة ويقوم بتحويل هرمون السيروتونين **Serotonin** إلى ميلاتونين **Melatonin**

والنسبة بين الميروتونين إلى الميلاوتونين هي التي تجعل النواه فوق التقاطع البصري في تزامن مع دورة النهار : اللؤلؤ والتي طولها ٢٤ ساعة. ويوضح ذلك ظاهرة تسمى *jet lag* وهو شعور بالكسل والتعب والتباطؤ وعدم الراحة يحس به المسافرين لمسافات طويلة بالطائرة عقب وصوله للمكان الجديد (كالمسافر من الغرب للشرق مثلاً) وسبب ذلك هو أن ساعات الجسم البيولوجية ما زالت تعمل على نظامها القديم قبل السفر حيث تحتاج هذه الساعات إلى فترة من الوقت لتعديل عملها، ولتلائق هذه المشكلة بنصح المسافرين من الغرب إلى الشرق أن يذهب للنوم مبكراً ساعتين لمدة عشرة أيام قبل سفره والعكس بالنسبة للمسافرين من الشرق إلى الغرب. (أي يقوم بضبط ساعته البيولوجية على مكان الذهاب قبل الذهاب إليه).

الأضرار الناتجة عن الإخلال بساعات الجسم البيولوجية : الحياة الحديثة تميزت ببعض الخصائص التي في أغلب الأحيان تسبب أضرار للإنسان من هذه الخصائص السرعة المحمومة لهذه الحياة والضغوط والتلوث وجدول العمل الشاذة التي تفرض على العمال بفرض إستغلال أقصى كفاءته للمبني الذين يعملون فيه. كل هذه العوامل تسبب خلل في الساعات البيولوجية - حيث يرى كثير من العلماء أن الدورات الطبيعية للنوم واليقظة تسبب ثبات صحتنا الطبيعية والنفسية. وأكثرت العوامل المؤثرة على الساعات البيولوجية هو جدول العمل المتغير. حيث يتم تغيير جداول العمل بالنسبة للعمال ونقلهم من العمل الصباحي إلى العمل المسائي كل فترة قليلة وذلك بغية الإستخدام الأمثل للأجهزة والمباني. هذا ما يحدث في الدول الصناعية حيث يغيب عن رجال الأعمال فيها أن الإنسان مخلوق منذ آلاف السنين وطبيعة خلقه تجعله ينام ليلاً ويصحو نهاراً وأن الإخلال بهذه الدورة (النوم ليلاً واليقظة نهاراً) يسبب كثرة في الحوادث وقلّة في كفاءه الإنتاج ويسبب للعمالين قرح وأرق وتسيب وإكتئاب وتوتر وهياج للتركيز لفاحص الدقيق، وأشهر الأمثلة على ذلك هو ما حدث في كارثتي المفاعلين النوويين الأول في مفاعل Three Mile Island عام ١٩٧٩ في الولايات المتحدة الأمريكية والثاني كارثة المفاعل لتروى تشيرنوبل في الإتحاد السوفيتي عام ١٩٨٦. وكان السبب الرئيسي في هاتين الحالتين واضح جداً وهو عدم ثبات جدول العاملين بهم مما أدخل بساعات الجسم البيولوجية وبالتالي أخطأوا الحكم في مقايير هامة. وإذا كان من الضرورة الإخلال بساعات الجسم البيولوجية (الطباء وعاملين بالمستشفيات مثلاً ورجال أمن... الخ) فيمكن حل هذه المشكلة جزئياً بوضع هؤلاء العاملين على جداول ثابتة لمدة شهر على الأقل لإعطاء فرصة لساعاتهم البيولوجية للتعاظم مع هذا الإيقاع الجديد.

الباب التاسع

التغذية - الجهاز الهضمي - الهضم والإمتصاص

Nutrition, Digestive System - Digestion And Absorption

مقدمة Introduction : هناك ظاهرة نلاحظها في حياتنا جميعاً وهي أن النساء أقل قدرة ودرجة واضحة على تحمل البرودة من الرجال، أو بمعنى آخر لو تواجد النساء مع الرجال في مكان بارد نجد أن هناك فروق واضحة بين الرجال والنساء في تحمل البرودة. السبب في ذلك يرجع طبيعياً إلى نقص الحديد في النساء عن الرجال كنتيجة لتفقدن الحديد في سوائل الدورة الشهرية (الطمث أو الحيض Menstruation) وهو فقد الدم وأنسجة بطانة الرحم التي تحدث شهرياً. ونقص الحديد في الإناث ينقص إنتاج الحرارة Heat production في الجسم.

وقد وجد الباحثين أن النساء اللذين عندهم نقص في الحديد يعتمدون ولأسباب غير معروفة على سكر الجلوكوز كمصدر للطاقة بدلاً من الدهن. ومن المعروف أن جرام الدهن يولد طاقة تعادل 250% من الطاقة التي يولدها جرام الجلوكوز. هذا ويمكن تحسين مقدرة النساء (الذين يعانون من نقص الحديد) على مقاومة البرودة بإعطائهم الحديد في صورة مخلوط معادل + فيتامينات والذي يسبب تحسن حالتهم بعد ١٢ أسبوع تقريباً حيث يستطيعون مقاومة البرد. وهناك عدة نظريات لتفسير هذه الظاهرة أهمها هاتان النظريتان : **النظرية الأولى** مفادها أن الحديد هو مكون هام لجزئ الهيموجلوبين Hemoglobin (الهيموجلوبين هو البروتين الموجود بخلايا كريات الدم الحمراء Red blood cells (RBCs) والتي تنقل الأكسجين من الرئتين إلى أنسجة الجسم حيث يرتبط بالحديد في جزئ الهيموجلوبين مع الأكسجين اللازم لتنفس الخلايا والذي ينتج عنه إنتاج حاملات الطاقة ATP وحرارة. لذلك فإن نقص الحديد يسبب نقص كمية الأكسجين المتوافرة لعمليات الأيض الغذائي Metabolism ولذا يقل إنتاج الحرارة Heat production داخل الجسم. أما بالنسبة للنظرية الثانية فهي تعتمد على دور الحديد في إنتاج الحرارة. فالحديد مكون هام في الإنزيمات التي تعمل في سلسلة نقل الإلكترونات في الميتوكوندريا وهذه الإنزيمات جزء من جهاز نقل الإلكترونات Electron transport system الذي ينتج معظم ATP في الخلية، فإذا انخفض مستوى الحديد يحدث خلل في انتقال الإلكترونات وإنتاج الحرارة وقد علمنا من الأبواب السابقة كيف أن ATP تحرر الحرارة ولذا فإن نقص الحديد ينقص إنتاج الحرارة داخل الجسم.

مما سبق يتضح لنا بعض أسباب عدم قدرة كثير من النساء على تحمل البرودة، كما يشير أيضا إلى أهمية إعطاء النساء الحوامل الحديد في صورة مخلوط معادن مع فيتامينات خلال فترة الحمل حتى يحسن من الإنتاج الحراري في الجسم، وطبعاً الأفضل من كل هذا هو الإهتمام بالتغذية السليمة الصحية المتوازنة حيث لها أكبر الأثر على وظائف الجسم الفسيولوجية.

العناصر الغذائية Nutrients : الإنسان وحيوانات أخرى مثل الدجاج ينفردوا بقدرتهم على تحمل الجوع لفترات طويلة فيستطيع الإنسان والدجاجة مثلاً البقاء على قيد الحياة بدون غذاء لمدة ٤٠-٦٠ يوم، لكن بالنسبة للإنسان يكون من بعد اليوم الثالث من منع الغذاء ضعيفاً وغير قادر على الحركة، أما بالنسبة للدجاجة فتستمر لفترة طويلة قادرة على الحركة. لذلك فالغذاء لازم لبقاء الإنسان والحيوان على قيد الحياة بالإضافة إلى أهميته بالنسبة للنمو والحوية. لذلك يجب تناول وجبة غذائية سليمة بها العناصر الغذائية المطلوبة يومياً لخلايا وأنسجة وأعضاء الجسم.

وبالتالي فالإنسان أو الحيوان يحتاج إلى نوعين أساسيين من العناصر الغذائية هما : ١- العناصر الغذائية الرئيسية (عناصر غذائية مطلوبة بكميات كبيرة). ٢- العناصر الغذائية الدقيقة (عناصر غذائية مطلوبة بكميات قليلة).

١- **العناصر الغذائية الرئيسية Macronutrients :** وهي عناصر الغذاء المطلوبة بكميات كبيرة نسبياً وتشمل الماء والبروتينات والدهون والكربوهيدرات.

أ- **الماء Water :** وهو أهم العناصر الغذائية وبدونه لا توجد حياة طبقاً للأية الكريمة "حيفظنا من الماء كل شيء حي". وبالرغم من أن الإنسان يستطيع البقاء بدون غذاء لفترة قد تطول لمدة ٦٠ يوم إلا أنه لا يستطيع البقاء بدون ماء لأكثر من يوم أو اثنين أو ثلاثة على أقصى تقدير، أما في الأغنام والجمال والدجاج فتستطيع تحمل العطش لمدة قد تطول إلى ٨ أيام أو أكثر حسب درجة حرارة الجو ونوع الغذاء. ويحصل الإنسان على الماء من السوائل التي يشربها وفي المأكولات الصلبة التي يأكلها، كما ينتج الماء أيضاً داخل الجسم أثناء عمليات التمثيل الغذائي للخلايا.

وترجع أهمية الماء كمصدر غذائي إلى : ١- يشترك في معظم التفاعلات الكيميائية في خلايا الجسم لذا فإن نقص مستوى الماء يسبب خلل (أو نقص كفاءته) في عمليات الأيض الغذائي Metabolism والتي تتضمن إنتاج الطاقة. ومثلاً لذلك هو ما وجدته بعض الباحثين من نقص كفاءة الرياضيين بدرجة كبيرة عند نقص (حتى لو بدرجة قليلة) مستوى الماء في الجسم. ٢- الماء لازم وضروري لعملية الأثران للدخل لدرجة حرارة الجسم Body temperature homeostasis. فنقص الماء يسبب نقص حجم السوائل خارج الخلية Extracellular fluids والتي تشمل حجم الدم كأحد مكوناتها. وبالتالي في الجو الحار نقص السوائل خارج خلوية يسبب رفع درجة حرارة الجسم لسببين

الأول هو عدم مقدرة الجسم على حمل قدر حرارى بالكفاءة المطلوبة (كنتيجة لتقصص كمية العرق وبالتالي التبخير من على سطح الجلد - لاحظ أن تبخير ١ جم ماء يتبعه قدر حرارى مقداره ٥٨ كيلو كالورى) والسبب الثانى وهو أن الحرارة الناتجة بواسطة الخلايا تمتص بواسطة حجم أصغر من الماء. ومعروف أن ارتفاع درجة حرارة الجسم يسبب خلل فى وظائف الخلايا وبعد درجة معينة يؤدى إلى الوفاة. أما نقص موائل الجسم فى الجو البارد فهو على عكس الجو الحار بسبب نقص درجة حرارة الجسم لسبب نقص كفاءة عمليات التمثيل الغذائى وبالتالي نقص الإنتاج الحرارى المطلوب لمعادلة المعدلات العالية من فقد الحرارى فى الجو البارد. -٣- الماء يعتبر وسيلة لتوزيع وتجانس الحرارة فى أجزاء الجسم المختلفة. -٤- الكمية الطبيعية من الماء تسبب المحافظة على تراكيز طبيعية من العناصر الغذائية ونواتج المخلفات السامة فى الدم وفى السوائل خارج الخلايا. فعند نقص الماء (فى حالة العطش) يصبح البول أكثر تركيزاً حيث يزداد تركيز المخلفات فى البول الأمر الذى يؤدى إلى احتمال تكوين حصوات فى الكلية Kidney stones وهى عبارة عن ترسبات من الكالسيوم ومواد أخرى فى الكلية. وقد تقوم هذه الحصوات بسد الحالب الأمر الذى يؤدى إلى منع مرور البول مما يسبب تلف لأنسجة الكلية (فى كثير من الأحيان تسبب الفشل الكلوى).

هذا بالنسبة لجانب الماء كعنصر من العناصر الغذائية الرئيسية أما بالنسبة للجانب الآخر وهو الكربوهيدرات والدهون والبروتينات فهى فى مجملها مصادر للطاقة Sources of energy فيما عدا البروتينات التى لا تستخدم كمصدر للطاقة إلا تحت ظروف ضغوط Stresses معينة.

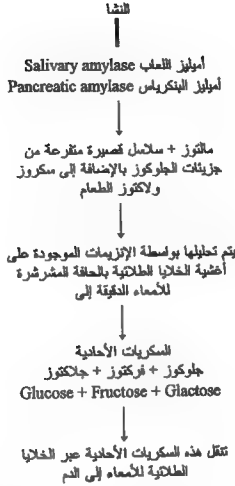
والخلاية تحتاج إلى الطاقة للقيام بعدة آلاف من الوظائف المطلوبة للحفاظ على التوازن الداخلى والنمو والإقسام. فجميع خلايا الجسم تحتاج إلى طاقة للنقل النشط Active transport للجزيئات عبر أغشية الخلايا. والإنسان يستهلك ٧٠-٨٠% من الطاقة للكلية الناتجة فى جسمه فى القيام بالوظائف البيولوجية الأساسية مثل عمليات البناء والهدم وهضم وإمتصاص الغذاء... الخ. و ٢٠-٣٠% من الطاقة وهى الكمية الباقية تستخدم فى حركة الجسم الطبيعية مثل المشى والكلام والجري وتزداد هذه النسبة مع زيادة النشاط أو ممارسة الرياضة العنيفة مثلاً (لاحظ أن لاعب الكرة يستهلك نسبة أكبر من الطاقة فى النشاط العضلى العنيف بالمقارنة بمسائق السياره مثلاً). وأثناء فترات الراحة يعتمد الجسم على كميات متساوية تقريباً من الدهون والكربوهيدرات لتوفير إحتياجات الجسم الأساسية من الطاقة، وتحت ظروف ضغوط Stresses معينة تخطى يستخدم البروتين كمصدر للطاقة.

والكربوهيدرات والدهون تهتم فى الخلايا لتوفير الطاقة. والكربوهيدرات توجد فى كثير من الأغذية فى صور متعددة فتوجد فى صورة نشا فى الحبوب وبعض الفواكه والخضروات وهذه توفر حوالى ٤٥% من إحتياجات الطاقة للكلية للإنسان، وبقيّة الطاقة اللازمة يوفرها الجليكوجين الموجود

فى اللحوم والسكريات البسيطة فى التواكه وسكر اللاكتوز فى اللبن. وفى الجهاز الهضمى يتحلل النشا والجليكوجين إلى جلوكوز ليوزع على خلايا الجسم وجزء منه يستخدم لإنتاج الطاقة والباقي يخزن فى صورة جليكوجين فى الكبد والمضلات وكمية متوفرة يمكن أن تخرج فى البول. ويتناول الإنسان تقريبا وجبتين إلى أربعة فى اليوم، لذا فتلعب مخازن الجليكوجين دورا هاما فى المحافظة على الإكزان الداخلي Homeostasis لسكر الدم بين هذه الفترات وأيضا أثناء التدريب الجمائى وهم الجليكوجين لتوفير الجلوكوز. ويجدر الإشارة هنا أن التدريب الجمائى العنيف يسبب إستهلاك الأكسجين بسرعة فى المضلات وبالتالي يقل مستواه. وعند وصول العضلة لحالة التنفس اللاهوائى Anaerobic فإنها تستهلك الجلوكوز لتوفير الطاقة ولا تستهلك الدهون حيث تبقى مخازن الدهون بالجسم كما هى وهذا هو سبب عدم نجاح الأشخاص فى إتقاص أوزانهم عن طريق الرياضة العنيفة، لكن يمكن إتقاص الوزن عن طريق تدريب جمائى معتدل وكثير تكرارا ولتقترات أطول على ألا يكون عنيفا. والهدف من ذلك هو تلافى إستهلاك أكسجين المضلات أثناء أداء هذا التدريب، أى يتم للتدريب الجسمائى تحت التنفس الهوائى المضلات Aerobic exercise وهذا مفيد وصحى بالنسبة للقلب والأوعية الدموية والجهاز التنفسى كما أنه يساعد على التخلص من الوزن الزائد لأنه يعتمد أساسا على عدم مخزون الدهون بالجسم لإنتاج الطاقة.

١- الكربوهيدرات Carbohydrates : هضم الكربوهيدرات يبدأ فى الفم عن طريق اللعاب وينتهى بسكر الجلوكوز فى الأمعاء والأذى يمتص فيها ويذهب للدم. فمثلا يبدأ هضم النشا فى الفم بواسطة إنزيم الأميليز الموجود فى اللعاب Salivary amylase ويستمر هذا الهضم فى الجزء العلوى من المعدة قبل تكسير إنزيم أميليز اللعاب بواسطة حامض الهيدروكلوريك المعدى. ثم يكتمل هضم للنشا فى الأمعاء الدقيقة عن طريق إنزيم أميليز البنكرياس Pancreatic amylase. والشكل ٩-١ يوضح ممالك هضم النشا وإمتصاص معظم الكربوهيدرات المأكولة فى الل. ٢٠% الأولى من الأمعاء الدقيقة. هذا للكربوهيدرات وظائف غاية فى الأهمية فبالإضافة إلى أنها مصدر رئيسى للطاقة مثل الدهون إلا أن الألياف الموجودة فى الغذاء تلعب دورا هاما فى المحافظة على صحة الإنسان والحيوان. فهناك مثلا السيلولوز (عديد السكريات) وهى ألياف موجودة فى التواكه والخضروات والحبوب ولا يمكن تكسيره فى الإنسان لإفتقاد الإنسان الإنزيمات اللازمة لكسر الروابط التساهمية Covalent bonds التى تربط وحدات السكريات الأحادية وهى الجلوكوز فى جزء الألياف.

ويتألف هضم الألياف ثمر فى المعدة والأمعاء فى الإنسان بدون تغيير ويوجد نوعان من الألياف فى الغذاء هما : أ- ألياف ذائبة فى الماء. ب- ألياف غير ذائبة فى الماء.



شكل (٩-١) : الشكل يوضح مضم النشا وامتصاصه في الـ ٢٠% الأولى من الأمعاء الدقيقة.

أ- الألياف الذائبة في الماء **Water Soluble Fibers** : وهي توجد في الخضروات والفواكه وبعض الحبوب وتشمل التفاح والموز والجزر والشوفان والشعير والألياف القابلة للذوبان في الماء عبارة عن عديد السكريات الصمغية Gummy وهي مفيدة جداً لصحة الإنسان حيث أكدت البحوث أنها تساهم في خفض كولسترول الدم. بعض هذه الألياف تعمل كمكسنة أو كبسغج Sponges تقوم بامتصاص وطررد الكولسترول من القناة الهضمية وتمتص امتصاصه في الدم، وللبعض الآخر من هذه الألياف الذائبة في الماء أيضاً يسبب تغير pH الأمعاء مما يجعل الكولسترول غير ذائب ويصعب امتصاصه ونقله للدم.

ب- الألياف الغير ذائبة فى الماء Water Insoluble Fibers : وهى عبارة عن جزيئات الميلوز الموجودة فى الكرفس والحبوب وتواتج القمح والأرز البنى والفلل الأخضر أما الفاصوليا الخضراء فتحتوى على كلاً من الألياف الذائبة والغير ذائبة فى الماء. وهذه الألياف لها أهمية أيضاً فهى تسبب زيادة المحتوى المائى للبراز Feces مما يؤدى إلى سهولة نقل وإخراج البراز من القناة الهضمية حيث يكون البراز أكثر ليونة، وبالتالي فهى تقلل حدوث الإمساك Constipation وتمنع حدوث الضغط الناتج عن الإمساك فى الأمعاء الغليظة. فبعض حالات الضغط الناتجة عن الإمساك تسبب تكوين جيوب صغيرة Pouches (والتي تسمى Diverticulae) فى جدار الأمعاء الغليظة حيث تسبب مرض يسمى Diverticulitis ثم إذا إلتتهبت هذه الجيوب فى جدار الأمعاء الغليظة تسبب دخول البكتيريا إلى الدم مسببة إرتفاع كبير فى درجة حرارة الجسم (حمى)، وفى بعض الأحيان تنفجر هذه للجيوب Diverticulae ويخرج البراز من الأمعاء الغليظة إلى التجويف البطنى والمعروف أن البراز يحتوى على بلايين البكتريا التى تسبب عدوى يصعب علاجها ويمكن أن تسبب الوفاة. ولذلك ينصح دائماً بعدم إستعمال الدقيق الأبيض (القمح المزال منه القشرة) فقط فى الخبز ولكن يجب إستعمال نواتج طحن القمح كلها مع بعضها ولا تزال منها القشرة Shell لأن إزالة القشرة يزيل كل أو معظم الألياف من الدقيق. ولذلك فالمرض السابق Diverticulitis تزداد الإصابة به فى الدول المتقدمة مثل الولايات المتحدة ودول غرب أوروبا أما الدول الأفريقية فنادراً ما يحدث هذا المرض وذلك بسبب تناولهم الألياف بكثرة فى الغذاء. وهناك فائدة أخرى للألياف الغير قابلة للذوبان فى الماء فهى تقلل من فرص حدوث سرطان القولون الذى تزداد معدلات الإصابة به فى الدول المتقدمة لنفس سبب نقص نسبة الألياف فى الغذاء. وسبب ذلك أن البكتريا فى الأمعاء الغليظة تنتج مادة كيميائية تتسبب إحداث الطفرات المسببة للسرطان، ولذلك فأن الألياف فى الإسراع من خروج الغذاء يسبب تقليل هذه المادة المحذنة للطنرة بالإضافة إلى تقليل الوقت الذى تتعرض فيه خلايا الأمعاء الغليظة لهذه المادة. ولذلك فمن الضرورى أن تكون الوجبات الغذائية محتوية فى مكوناتها على كلاً النوعين من الألياف.

٢- الليبيدات (الدهون) Lipids (Fat) : الدهون تقوم بعدة وظائف فى الجسم نذكر منها :

- ١- تعتبر أحد مصادر الطاقة للخلية. ٢- تعتبر مصدر أساسى لتخليق الهرمونات الإسترويديّة.
- ٣- تعمل طبقة عازلة تحت الجلد لمنع فقد الحرارة من الجسم. ٤- الفوسفوليبيدات تعتبر مكون رئيسى لأغشية الخلايا Plasma membranes. ٥- الليبيدات الموجودة بالأمعاء تساعد فى إمتصاص الفيتامينات الذائبة فى الدهون وهى A & D & E & K من الأمعاء. وبعض الأفراد يستهلكون كمية من الدهون أكبر من احتياجاتهم فى الغذاء وهو ما يجعلهم عرضة للإصابة بالتهنوبت القلبية. ولذا لا يجب أن تزيد نسبة الدهون فى الغذاء بحيث لا تزيد نسبتها عن ٣٠% من الطاقة الكلية فى الغذاء.

هضم الدهون : يتم هضم دهن الغذاء بالكامل في الأمعاء الدقيقة عن طريق إنزيم ليبيز البنكرياس Pancreatic lipase (لاحظ أن دهن الغذاء معظمه في شكل جليسيريدات ثلاثية Triacylglycerol).

جليسيريد ثلاثي ← ليبيز البنكرياس ← جليسيريد أحادي + ٢ حمض دهني حر

ويتضح من المعادلة السابقة أن ليبيز البنكرياس يحفز (ينشط) فصل الروابط التي تربط الأحماض الدهنية مع ثنائي الكربون ١ ، ٣ بالجليسرول فينتج ٢ حمض دهني حر وجليسيريد أحادي. ولكن يلاحظ بالنسبة للمعادلة السابقة أن الجليسيريدات الثلاثية التي تدخل الأمعاء الدقيقة لا تذوب في الماء بينما تذوب ليبيز البنكرياس في الماء ولذلك فالمتوقع أن للفعل الهضمي لليبيز البنكرياس يكون بمعدلات بطيئة نظراً لأن فعله الهضمي يحدث فقط على سطح الحبيبات الدهنية (كنتيجة لأنها لا تذوب في الماء). لكن الزيادة في معدلات هضم الدهون تأتي عن طريق تقطيع حبيبات الدهن الكبيرة إلى عدد كبير جداً من الحبيبات الصغيرة لا يزيد قطر الواحدة منها عن 1mm وتسمى هذه العملية بالإستحلاب Emulsification (والمعلق الناتج يسمى مستحلب Emulsion) وهذه العملية تسبب زيادة مساحة سطح الدهون المعرض لفعل إنزيم الليبيز. هذا وعملية الإستحلاب تحتاج إلى ١- تقطيع ميكانيكي لحبيبات الدهن الكبيرة إلى حبيبات صغيرة قطر الواحدة حوالي 1 mm. وهذا يحدث عن طريق النشاط الإنقباضي للجزء السفلي من المعدة والأمعاء. ٢- مادة إستحلاب Emulsifying agent والتي تقوم بمنع إعادة تجمع حبيبات الدهن الصغيرة في حبيبات كبيرة مرة أخرى. ومواد الإستحلاب هذه تأتي من كلا من فوسفوليبيدات الغذاء وفوسفوليبيدات الصفراء وأملاح الصفراء. حيث ترتبط الأجزاء الغير مستقطبة من الفوسفوليبيدات وأملاح الصفراء مع الجزء الداخلي الغير مستقطب بحبيبات الدهن، مع ترك أجزائها المستقطبة معرضة لسطح الماء مما يؤدي إلى تنافر وعدم تجمع حبيبات الدهن المغلفة بمواد الإستحلاب. (لاحظ أن الفوسفوليبيدات عبارة عن سلسلة غير مستقطبة من ٢ حمض دهني متصلة بالجليسرول ومجموعة فوسفات حاملة للشحنة متصلة بذرة الكربون الثالثة بالجليسرول. أما أملاح الصفراء فهي تتكون في الكبد من الكولسترول، وكلا من الفوسفوليبيدات وأملاح الصفراء عبارة عن جزيئات Amphiphatic).

أما بالنسبة لإمتصاص نواتج هضم الدهون فهي كما نعلم غير ذائبة وبالتالي يقل معدل الإمتصاص في غياب أملاح الصفراء. ولذلك فلهذه الأملاح وظيفة أخرى وهي تسهيل إمتصاص نواتج هضم الدهون حيث تقوم بتكوين Micelles والتي تشابه الحبيبات المستحلبة في التركيب ولكن قطرها أصغر كثيراً.

وكما ذكرنا فنواتج هضم الدهن عبارة عن أحماض دهنية وجلسريدات أحادية وكلا الإثنان قليل الذوبان جدا في الماء، إلا أن كمية قليلة جداً من جزيئاتها توجد في هيئة محلول لذلك فهي تستطيع أن تنتشر بحرية عبر أغشية الخلايا للطلائعية المبطنة للأمعاء. والـ Micelles تتكسر ويعاد تكوينها باستمرار، وعند تكسرها تفرز محتوياتها على شكل محلول وذلك تصبح متاحة للإنتشار عبر أغشية الخلايا للطلائعية للأمعاء وبالتالي فهي تزيد من معدل إمتصاص نواتج هضم الدهن. وخلال مرور الأحماض الدهنية والجلسريدات الأحادية عبر خلايا الأمعاء يعاد تجميعها ودمجها مع بعض لتكوين الجلسريدات الثلاثية مرة أخرى على الشبكة الإندوبلازمية الناعمة والتي تحتوى على الإنزيمات اللازمة لتفليق الدهن. ثم تمر الحويصلات المحتوية على للحييات الدهنية من شبكة الإندوبلازمية الناعمة إلى جهاز جولجى ثم تذهب ملاصقة لأغشية الخلايا وتفرغ محتوياتها من الحبيبات الدهنية إلى سوائل بين الخلايا. وتسمى الحبيبات الدهنية الموجودة بالسوائل بين خلوية بـ Chylomicrons وبالإضافة لإحتواء الـ Chylomicrons هذه على الجلسريدات الثلاثية فهي تحتوى أيضا على ليبيدات أخرى تشمل الفوسفوليبيدات والكوليسترول والفيتامينات الذائبة في الدهن. والـ Chylomicrons هذه تدخل القنوات اللمبية لكنها لا تستطيع دخول الشعيرات الدموية وذلك لأن غشائها القاعدي وهو عبارة عن طبقة من الجليكوبروتيينات يعمل كحائل يمنع دخولها. أما القنوات اللمبية فليس لها غشاء قاعدي، ولكن توجد ثغور كبيرة بين الخلايا للطلائعية المبطنة لجدارها. لذلك تمر الـ Chylomicrons من خلال جدار القنوات اللمبية لتدخل الليمف والذي يصب في الأوردة الجهازية.

٣- البروتينات **Proteins** : البروتين يتكون من سلسلة من الأحماض الأمينية يختلف عددها وتتابعها حسب نوع البروتين. والبروتين في الجسم نوعان : بروتين تركيبى **Structural protein** وهو الذى يدخل في بناء الخلية نفسها وبروتين وظيفى **Functional protein** وهو عبارة عن هرمون أو إنزيم. ويحتاج الشخص العادى التام للنمو إلى حوالى ٤٠-٥٠ جرام بروتين يوميا (يلاحظ أنه يجب تنوع مصادرهم) حتى يمكنه الحصول على الأحماض الأمينية الأساسية ولتعويض نيسروجين الأحماض الأمينية الذى تم تحويله إلى يوريا. ومصدر البروتين في القناة الهضمية هو بروتين الغذاء بالإضافة إلى الكميات الكبيرة التي تفرز من البروتين في القناة المعوية المعوية في شكل مخاط وإنزيمات أو تدخل إلى القناة المعوية كخلايا طلائية متحولة.

وفي الأمعاء الدقيقة يتم تحليل معظم البروتين إلى أحماض أمينية كما يتم إمتصاص تلك الأحماض الأمينية بواسطة الأمعاء الدقيقة أيضا. ونشير بالذكر أن الأمعاء الدقيقة يمكنها أيضا إمتصاص بعض البروتينات الكاملة (التي لم تتحلل إلى أحماض أمينية). حيث تستطيع كميات صغيرة من البروتينات الكاملة عبور الخلايا للطلائعية للأمعاء الدقيقة عن طريق صليتى الإبتلاع

Endocytosis والطرود **Exocytosis** الخلوى. ويلاحظ أن القدرة الإمتصاصية للأغذية الدقيقة البروتينات الكاملة تكون أصلاً كثيراً في الأطفال الرضع ونقل كلما تقدم الفرد في العمر (حيث يكون الفارق وضاحاً بين الأطفال والبالغين). ولهذا يستطيع الطفل إمتصاص الأجسام المناعية المفردة له مع لبن الأم (الجسم المناعى عبارة عن بروتين كامل) حيث يعطيه ذلك مناعة حتى يكتمل جهازه المناعى.

يستخدم البروتين كمصدر للطاقة في حالتين فقط الأولى وهى عند إنقار مستوى الأغذية إلى الكربوهيدرات والدهون والثانية عند الزيادة الكبيرة في نسبة محتوى الغذاء من البروتين. أما عن نقص مستوى البروتين في الغذاء فهو ضار جداً خاصة بالنسبة للأطفال، فالأطفال المحرومين من البروتين تكون لهم أذرع وأرجل رفيعة ضئيلة، كذلك تنتفخ بطونهم كنتيجة لزيادة تراكم السوائل بها. أما في حالة زيادة نسبة البروتين عن المستوى الملائم فإن الأحماض الأمينية المحررة من البروتين الزائد تهجم في الجسم لإنتاج الطاقة وتكوين الدهن.

هضم البروتين : بعد تناول الوجبة تتحلل البروتينات في المعدة إلى ببتيدات عن طريق فعل نشاط إنزيم ببسين **Pepsin** للمعدة وإنزيمى للترسين والكميوتريسين للمغزران من البنكرياس **Pancreatic trypsin and chemotrypsin** في الأمعاء الدقيقة. ثم يحدث هضم لهذه الببتيدات عن طريق فعل نشاط إنزيمين الأول هو الكريوكسى ببتيداز **Carboxypeptidase** المفرز من البنكرياس والذي يقوم بفصل الأحماض الأمينية عند النهاية الكريوكسيلية للسلسلة الببتيدية والثاني وهو الأمينو ببتيداز **Aminopectidase** الموجود على السطح الغراي للخلايا الطلائية بالأمعاء ويقوم بفصل الأحماض الأمينية عند النهاية الببتيدية للسلسلة. يلي ذلك إمتصاص الأحماض الأمينية في الأمعاء الدقيقة عن طريق النقل للنشط **Active transport** ولكنه نقل نشط ثانوى حيث يكون مرتبط مع نقل الصوديوم خلال الأمعاء الدقيقة. بالإضافة إلى ذلك يحدث إمتصاص نشط لماسل قصيرة تحتوي على ٢-٣ حمض أمينى (لاحظ أن هذا عكس الكربوهيدرات حيث لا يحدث إمتصاص للجزيئات الأكبر من السكريات الأحادية).

وكما ذكرنا من قبل فهناك ٢٠ حمض أمينى يستطيع الجسم تخليق ١١ حمض أمينى منهم أما للتسعة أحماض أمينية الباقية فهى لا تخلق من أحماض أمينية أخرى ولذا تسمى **Essential amino acids** ولابد من الحصول عليهم من الغذاء. واللبين والبيض يوفران أحسن مجموعة من الأحماض الأمينية الأساسية ويلي ذلك في الأفضلية بروتينات اللحوم والدواجن والحبوب والصويا. وأقل مصادر البروتين قيمة هى البقوليات مثل الفول والنبسة والمكسرات والحبوب والخضروات حيث تحتوي على مستوى منخفض في واحد أو اثنين من الأحماض الأمينية الأساسية.

خفض مستوى كولسترول الدم : ارتفاع مستوى الكولسترول في الدم يسبب مرض تصلب الشرايين Atherosclerosis وهو تراكم الدهون على جدر الشرايين. وقد أثبتت الأبحاث أنه يمكن أن يبدأ هذا المرض في الأطفال عند عمر خمس سنوات حيث يبدأ تكوين المرض بعد إصابات طفيفة في الخلايا المبطنة للأوعية الدموية. ويعتقد أن تسلسل مرض تصلب الشرايين هو الآتي : ارتفاع ضغط الدم يسبب حدوث إصابة طفيفة في بطانة الأوعية الدموية، ثم تلتصق الصفائح الدموية والكولسترول بمنطقة الإصابة ويلتصق بقوم الأوعية الدموية بإنتاج خلايا تغطي هذه الدهون المترسبة الأمر الذي يؤدي إلى صغر حجم الشريان من الداخل مما يسبب إعاقة مرور الدم كما يؤدي إلى عدم نعمة جدر الأوعية الدموية الداخلية، ثم تترسب كميات إضافية من الكولسترول في هذا الجدار الذي يزداد في السمك وتزداد إعاقة مرور الدم معه أيضاً إلى القلب وأعضاء حيوية أخرى من الجسم وبالتالي يقل ورود الأكسجين لهذه الأعضاء، وقد تتكون جلطات دموية Blood clots بهذه الشرايين وهذه تعيق ورود الدم بدرجة أكبر. أضف إلى ذلك أن توقف ورود الأكسجين إلى القلب قد يؤدي إلى موت خلايا العضلة القلبية وضعف قدرتها على ضخ الدم (لاحظ أن نقص ورود الأكسجين إلى القلب ينتج عنه نوع من النوبات القلبية تسمى الذبحة القلبية أو الصدرية Myocardial infarction). والمرضى بالذبحة القلبية يشعرون بالألم في منتصف الصدر وفي الذراع الأيسر وإذا اتسعت المنطقة المحرومة من الأكسجين قد يتوقف القلب كلية. ويقل ورود الدم إلى المخ في المرضى المصابين بتصلب الشرايين مما قد يقدّم القدرة على النطق أو تحريك الأطراف وقد يمتد أثر المرض ليؤثر على أعضاء أخرى مثل الكلية.

العوامل المسببة لتصلب الشرايين : تصلب الشرايين تسببه عوامل كثيرة يعتقد أنها أكثر من أربعين عاملاً بعضها عوامل يمكن التحكم فيها والبعض الآخر لا يمكن التحكم فيه ومن العوامل التي لا يمكن التحكم فيها هي التقدم في العمر كما تزيد نسبة الإصابة في الذكور عن الإناث. أما العوامل التي يمكن التحكم فيها فهي ارتفاع ضغط الدم والتخثر ومستوى الكولسترول في الدم (لاحظ أن التخثر يعمل على رفع كلاً من ضغط الدم ومستوى الكولسترول في الدم أيضاً) بالإضافة إلى تناول الدهون بكميات كبيرة وضعف النشاط الرياضي أو للحركة صوماً.

الكولسترول : معظم كولسترول الدم في الإنسان يأتي من الكبد، حيث يقوم الكبد بتخليق وإفراز حوالي ٧٠٠ مليجرام كولسترول يومياً، بينما حوالي ٢٢٥ مليجرام تقريباً من الكولسترول في الدم مصدره الغذاء الذي يتلوه الفرد. والكبد Liver يقوم جزئياً بتنظيم مستوى كولسترول الدم فعند نقص كولسترول الغذاء يزداد إنتاج الكولسترول من الكبد، والعكس عند زيادته في الغذاء يخفض الكبد من إنتاجه. لكن بالرغم من قيام الكبد بهذا التنظيم إلا أنه في حالة زيادة مستوى كولسترول الدم لا

يستطيع أن يعمل بالسرعة المطلوبة لإمتصاص وإستعمال والتخلص من الكولسترول، ونتيجة لذلك فإن الكولسترول الزائد يسير في الدم بعد تناول الغذاء ويترسب في الشرايين. والكولسترول يوجد في الدم محمولا على بروتين مرتبط به حيث يكون معد البروتين مع الليد ومعد البروتين مع الليد يتسع تحت مجموعتين هما : ١- **ليپوبروتين عالي الكثافة (HDLs)** وهذه تعمل كمكتمة منظمة للكولسترول حيث تلتقط الكولسترول الزائد وتنقله إلى الكبد حيث يزال من الدم ويخرج عن طريق الصفراء **Bile**. ٢- **ليپوبروتين منخفض الكثافة (LDLs)** وهي تقوم بنقل الكولسترول من الكبد إلى أنسجة الجسم. مما سبق يتضح أن كلا من **HDLs & LDLs** تعمل بطريقة مختلفة، لكن البحوث أثبتت أن نسبة **HDL/LDL** هي المحددة لإحتمالات حدوث خلل في الأوعية الدموية، فزيادة النسبة تقلل من مخاطر حدوث الخلل.

وقد يكون سبب إرتفاع كولسترول الدم وراثيا، وأيضا تناول الأغذية المحتوية على كميات عالية من الكولسترول (مثل البيض واللحوم الحمراء) يسبب في بعض الأفراد إرتفاع كولسترول الدم **Hypercholesterolemia**. والملاءم ينصحون بتقليل تناول الأغذية المحتوية على كولسترول كوسيلة لتخفيض كولسترول الدم، لكن أثر إقصاص كولسترول الغذاء قد يختلف من فرد إلى آخر تبعاً للإختلاف في حالة النشاط الجسماني والوراثي والعمر والضغط...الخ.

وينصح بالتالي لتقليل مخاطر الكولسترول في الإنسان : ١- لا تزيد نسبة الكولسترول في الغذاء عن ٣٠٠ ملليجرام يوميا. ٢- لا تزيد نسبة دهن الغذاء عن ٣٠% من الطاقة الكلية في الوجبة الغذائية. ٣- رفع طاقة مساهمة الوجبة إلى ٥٠% من الطاقة الكلية في الوجبة. ٤- الحد من تناول الدهون (الأحماض الدهنية المشبعة) بإستخدام الزيوت النباتية (زيت بذرة السمرة مثلا) فقد وجد ولأسباب غير معروفة أن الدهون الحيوانية تسبب زيادة نسبة الكولسترول في الدم. ٥- إزالة الشحوم والدهون من اللحوم قبل طهيها. ٦- زيادة تناول الفواكه والخضروات والحبوب كبدل للدهون. ٧- ينصح ألا يتعدى مستوى الكولسترول في الدم ٢٢٥-٢٥٠ ملليجرام/١٠٠سم^٣ بلاثرما. ٨- ينصح بتناول الأسماك مرتين أسبوعيا مع ثلاثي تقطيع الأسماك قبل طهيها، حيث أثبتت البحوث أن زيت الأسماك تساعد على إقصاص كولسترول الدم. فزيوت الأسماك تحتوى على أحماض دهنية غير مشبعة تسمى **Omega-3 fatty acids** وهذه تنشط البروستاجلاندينات التي تزيد مرونة كريات الدم الحمراء وتنقل لتصلها أي تقلل تجلط الدم. وهذا الأمر للـ **Omega-3 fatty acids** لا يظهر عند أكسنتها (علما بأنها قابلة للأكسدة بدرجة كبيرة). لذلك وجب ثلاثي تقطيع الأسماك قبل الطهي حيث يسبب زيادة الأكسدة ويقلل مستوى **Omega-3 fatty acids**. ٩- يمكن أيضا تقليل كولسترول الدم بواسطة العقاقير والغذاء المناسب والرياضة البدنية.

هذا وقد أكدت للتجارب أن نقص مستوى كولي. زول الدم يؤدي إلى نقص في أمراض الأوعية الدموية. الشيء الملفت للنظر أن الكوليسترول مرتفع أيضاً في بعض الأطفال وإذا فُصل ينصح بتقليل غذاء الأطفال المرتفع في دههم الكوليسترول قبل عصر عامين حيث أن تقليل الغذاء سوف يسبب في هذه الحالة خلل في النمو والتطور الجسماني. وإذا احتاج في هذه الحالة الأطفال قبل سن البلوغ إلى وجبة ممتزجة منخفضة في الدهون ومحتوية على طاقة كافية من مصادر أخرى غير دهنية.

العناصر الغذائية التي يحتاجها الجسم بكميات ضئيلة : الفيتامينات والمعادن :

Micronutrients Include Two Broad Groups : Vitamins And Minerals :

الجسم يحتاج إلى كميات ضئيلة من الفيتامينات والمعادن لكنها ضرورية.

الفيتامينات Vitamins : تخلق الفيتامينات في النباتات وإذا فالإنسان يحصل عليها من النباتات أو من لحوم حيوانات أكلت هذه النباتات. والفيتامينات عبارة عن مجموعة متنوعة من المركبات العضوية ولها دور هام في معظم عمليات البناء والهدم Metabolism. وتوجد هذه الفيتامينات في الأغذية بكميات ضئيلة. وكما سبق ذكره تعمل الفيتامينات كموامل مساعدة (معاونة) للإنزيمات. والجسم يحتاج إلى كميات قليلة من الفيتامينات لأنه بعيد استخدام الفيتامينات عدة مرات ومثلاً لذلك أن واحد مليلجرام من فيتامين B-12 يكفي ثلاثة آلاف شخص لمدة يوم. والفيتامينات تمتص من القناة الهضمية بدون هدمها. فمجموعة الفيتامينات الذاتية في الدهن وهي A & D & E & K تمتص بنفس الطريق Pathway الذي يمتص به الدهن حيث تكون ذائبة في الـ Micelles (راجع امتصاص الدهون بنفس الباب). أما بالنسبة للفيتامينات الذاتية في الماء فيتم امتصاص معظمها عن طريق الانتشار Difusion أو عن طريق توسط الحوامل الناقلة Carrier-mediated transport. لكن الأمر يختلف بالنسبة لفيتامين B-12 فهو عبارة عن جزء كبير حامل للشحنة، ولذلك لكي يمتص يجب أولاً أن يرتبط مع بروتين تنتجه الخلايا المفرزة لحمض الهيدروكلوريك بالمعدة ويسمى هذا البروتين بالعامل الداخلي Intrinsic Factor. ويرتبط B-12 مع العامل الداخلي يكون معقد. هذا المعقد يمتص عن طريق ارتباطه مع مواقع متخصصة على سطح الخلايا الطلائية بالجزء السفلي من اللقائفي (لاحظ أن نقص فيتامين B-12 يسبب أنيميا فقر الدم Pernicious anemia وهو ما يحدث عند إزالة جزء كبير من المعدة كنتيجة لوجود قرح كثيرة بها أو إزالة الجزء السفلي من اللقائفي).

وتقع الفيتامينات تحت مجموعتين رئيسيتين هما : -1- فيتامينات قابلة للذوبان في الدهن. -2- فيتامينات قابلة للذوبان في الماء.

1- الفيتامينات القابلة للذوبان في الدهن Fat-Soluble Vitamins وتشمل فيتامينات A & D & E & K ولها وظائف هامة في الجسم منها : -1- يتحول فيتامين A إلى الحبيبات الحساسة

الضوء في شبكة العين Retina والتي لها دور هام في الإبصار. -ب- يستعمل فيتامين Retina-A وهو أحد مشتقات فيتامين A لعلاج حب الشباب وتجاعيد الشيخوخة في الوجه. -ج- كما أن أحد أفراد مجموعة فيتامين A يزيل المؤكسفات الضارة من الجسم.

وهذه المجموعة من الفيتامينات (A & D & E & K) تخزن في الدهن في الجسم بعكس الفيتامينات الذائبة في الماء التي يتخلص الجسم من الزائد منها عن طريق البول. لذلك فزيادة الفيتامينات الذائبة في الدهن تسبب زيادة تخزينها في الجسم مما يسبب أضرار سنية، ومثالا لنسبة زيادة نسبة فيتامين D في الدهن تسبب تساقط الشعر وغيثان وآلم في المفاصل والعظام والعضلات وإسهال، وبالنسبة للسيدات للحوامل فهو يسبب تشوه المولود.

والإنسان يجب أن يتناول كميات مناسبة من الفيتامينات لأن الزيادة أو النقص تسبب أضرار وأحسن مصادر الفيتامينات هي المصادر الطبيعية (الفواكه والخضروات الطازجة وكل المواد الغذائية الطازجة). كذلك تؤثر الفيتامينات على الإيزان الداخلي Homeostasis لعناصر غذائية أخرى في الجسم، ومثالا لذلك فيتامين C فهو يسبب زيادة امتصاص الحديد في الأمعاء الدقيقة، لكن الجرعات العالية منه تسبب نقص استخدام النحاس بواسطة الخلايا.

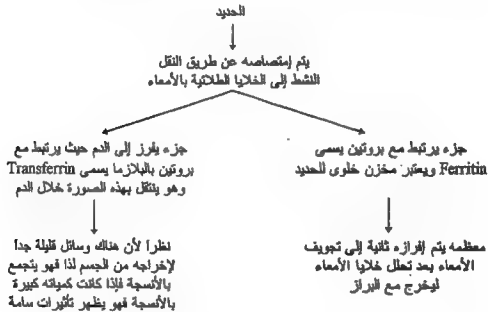
كما أن نقص الفيتامينات في الجسم يسبب ضعف المناعة وبالتالي الإصابة بالأمراض. بالإضافة إلى أن نقص بعض الفيتامينات يسبب أضرار بالغة فمثلا نقص فيتامين A يسبب الشعور بالضعف والإرهاق وتأخر في النمو.

٢- **الفيتامينات القابلة للذوبان في الماء Water-Soluble Vitamins** : وهي تشمل مجموعة فيتامين ب المركب B complex (وهذه المجموعة تشمل إحدى عشر فيتامين) وفيتامين ج C. وهذه الفيتامينات تذوب في الماء لذا فهي تفرز في البول ولا تتجمع في الجسم لكن الكميات الزائدة منها تذهب الكلى. وكما ذكرنا من قبل فهذه المجموعة من الفيتامينات تعمل كمعامل مساعدة للإنزيمات Coenzymes حيث تقوم بتنشيط الإنزيم.

٢- **المعادن Minerals** : المعادن يمكن تقسيمها إلى مجموعتين رئيسيتين هما : ١- معادن رئيسية Major Minerals مثل الكالسيوم والفسفور والتي تكون جزء من المادة البينية في العظام الكثيفة ويحتاج إليها الجسم بكميات كبيرة مقارنة بمجموعة المعادن النادرة. ٢- المعادن النادرة Trace Minerals كالزنك والنحاس والحديد وهي ضرورية لتنشيط بعض الإنزيمات حيث تعمل كموامل مساعدة Cofactors. هذا ويحصل الجسم على المعادن من الغذاء والماء، وهناك الكثير من المعادن كالحديد والصوديوم التي تعتبر ضرورية لقوام الجسم بوظائفه. ولإيضاح ذلك نأخذ مثال

للمصوديوم مثلاً : فنحن نعلم أن الماء يوجد بوفرة في الكيموس الموجود بالمعدة (الكيموس هو عبارة عن الغذاء الموجود بالمعدة بعد خضه جيداً وسوف يأتي ذكره بإذن الله عند التحدث عن المعدة) ويخل الأمعاء حوالي ٨-١٠ لتر ماء يومياً وهي عبارة عن السوائل المتناولة والمفرزة يومياً، لكن الذي يسر من الماء إلى الأمعاء اللطيفة هو ١,٥ لتر فقط والكمية الباقية تمتص في الأمعاء الدقيقة حيث ينتشر الماء عبر الخلايا الطلائية عندما يؤدي امتصاص الأملاح إلى وجود فرق في تركيز الماء. أهم هذه الأملاح هي أيونات الصوديوم والتي تنقل عبر الخلايا الطلائية بالنقل الأولي للنشط Primary active transport باستخدام الـ $\text{Na}^+, \text{K}^+ \text{-ATPase pumps}$. كما تتحرك أيونات اليكربونات والكلوريد مع أيونات الصوديوم وهي تشكل جزء كبير من الأملاح الممتصة. وهناك أملاح أخرى تمتص ولكنها توجد بتركيزات قليلة مثل اليوتسيوم والماغسيوم والكالسيوم.

عملية امتصاص الحديد في الإنسان : عملية امتصاص الحديد يوضحها الشكل ٩-٢. فالحديد يتناوله الإنسان مع الغذاء والماء، لكن يمتص حوالي ١٠% فقط من الكمية المأخوذة.



شكل (٩-٢) : عملية امتصاص الحديد.

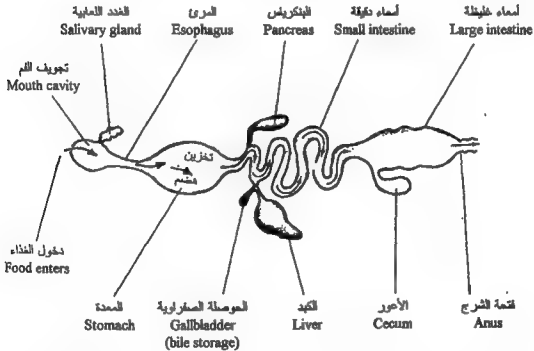
ويجدر الإشارة هنا أن كمية الحديد الممتصة تتوقف على محتوى الجسم من الحديد. وعن طريق الآليات المنظمة لمستوى الحديد يمكن لجسم الإنسان أو الحيوان المحافظة على مستوى الحديد ثابتاً إلا أن تناول كميات عالية من الحديد يؤدي إلى التغلب على الآليات المنظمة له وبالتالي فهو يتجمع في هذه الحالة في الأنسجة وتبدأ تأثيراته السامة في الظهور.

وهذه حالة مرضية تسمى **Hemochromatosis** وهي حالة قصور آليات تنظيم الحديد لأسباب وراثية وإذا قال رضى هنا يمتصون كميات سامة من الحديد بالرغم من تناولهم كميات حديد طبيعية فى طعامهم. بالإضافة إلى ذلك فإمتصاص الحديد يعتمد على نوع الطعام نفسه حيث يرتبط الحديد مع الأيونات السالبة للشحنة مما يؤدي إلى عجز فى إمتصاصه. فمثلا الكبد يمتص منه الحديد بدرجة أكبر. من إمتصاص الحديد من صفار البيض حيث يحتوى صفار البيض على فوسفات تربط الحديد مكونة معقد غير ذائب.

الجهاز الهضمى فى الإنسان The Human Digestive System : هناك

عمليات طبيعية وكيميائية يتم بها هضم الغذاء الذى يتناوله الإنسان وإيضاح هذه العمليات يجب أن نعرف معها على أجزاء الجهاز المعدى المعوى Gastrointestinal system والذى يتكون من أ- القناة المعدية المعوية. ب- الأعضاء الملحقة.

أ- القناة المعدية المعوية (GIT) Gastrointestinal Tract : وتشمل الفم والبلعوم والمرئ والمعدة والأمعاء الدقيقة والأمعاء الغليظة والمستقيم (شكل ٩-٣).



شكل (٩-٣) : الشكل يوضح التركيب التشريحي العام للقناة الهضمية فى الإنسان وعديد من الحيوانات الأخرى وحيدة المعدة. فالغذاء يدخل من الفم ويخرج من الجانب الآخر وهو الشرج. وأثناء هذه الرحلة يهضم ميكروبيا وكيميائيا ويمتص فى مجرى الدم.

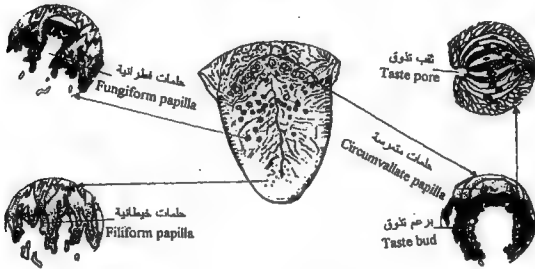
١ - الفم والهدم الميكانيكي للغذاء : The Mouth : Physical Breakdown Of Food :

الفم يتكون من الفكين والأسنان وهو تكوين معقد يقوم بهدم الغذاء ميكانيكياً ودرجة أقل كيميائياً. وهو بداية القناة الهضمية وفيه يبدأ الهضم بمضغ الطعام Chewing فالأسنان الحادة من الأمام تشرح الغذاء وتقطع في حين أن الأسنان المبطنه (الضروس) في خلف الفم تطحن للغذاء وتحوله إلى قطع صغيرة يسهل بلعها. ولثاء طحن الغذاء في الفم يضاف إليه اللعاب Saliva الذى تفرزه ثلاث أزواج من الغدد اللعابية Salivary glands وهى غدد خارجية الإفراز توجد بالتجويف الفمى وتصب إفرازاتها في الفم عن طريق قنوات. ويمنه إفراز اللعاب بواسطة رائحة الغذاء والشعور به وطعم الغذاء وأحياناً التفكير فيه. أما وظائف اللعاب فهي : ١- إحتوائه على المخاط الذى يعمل على ترطيب وإزوجة قطع الغذاء للصغيرة فيجعلها سهلة البلع. ٢- قتل بعض أنواع البكتريا عن طريق ما يحتويه من إنزيمات أو أجسام مضادة. ٣- يسبب ترطيب الفم وبالتالي المساعدة على الكلام. ٤- يحتوى اللعاب على إنزيم الأميليز Amylase والذى يقوم بالهضم الجزئى للسكريات العديدة Polysaccharides (راجع هضم النشا). ٥- ذابة بعض المواد والمساعدة على تذوقها، فالجزيئات الذائبة من الأكل تستطيع التفاعل مع المستقبلات الكيميائية Chemoreceptors بالفم مما يعطى الإحساس بطعم Tact الغذاء. ٦- يعمل اللعاب على تنظيم وتطهير الأسنان حيث يزيل البكتريا وبأشياء الطعام. والمعروف أن هناك إيقاع بيولوجى أيضاً في إفراز اللعاب فإفراز اللعاب ينقص بدرجة كبيرة أثناء النوم، وبالتالي فإن البكتريا تتراكم على سطح الأسنان وتقوم بهضم الجزيئات الصغيرة المتبقية من الطعام حيث تنتج بعض الروائح الكريهة والتي تظهر عند الإستيقاظ.

ويجدر الإشارة أن البكتريا التي تعيش على الأسنان تفرز مادة لزجة تسمى الجيز Paque هذه المادة تلتصق على الأسنان وتتصيد أنواع أخرى من البكتريا. هذه الأنواع من البكتريا تفرز كميات قليلة من حامض ضعيف يعمل على مينا الأسنان Enamel ويسبب تأكلها (مينا الأسنان هي الغطاء الخارجى الصلب للأسنان) ويؤدي ذلك إلى تكوين حفر في الأسنان حيث يسهل على الحامض بعد ذلك إحداث تآكل في الطبقة الأكل صلبة الموجودة تحت مينا الأسنان. ولتلافي هذه الأضرار ينصح بالآتي :- ١- إستعمال فرشاة الأسنان أو الممسوك دائماً بعد تناول الطعام حيث يساعد ذلك على إزالة الجيز وبالتالي تقليل حدوث التجاويف في الأسنان. ٢- بعض الدراسات أثبتت أن مادة الفلورايد الموجودة في معجون الأسنان تساعد على تقوية مينا الأسنان وتقلل من حدوث التجاويف. ويجدر الإشارة هنا أن بعض الدول أنتجت مياه شرب مضاف إليها مادة الفلورايد ليسبب حماية الأسنان لكن أشادت بعض الدراسات الحديثة أن الفلورايد قد يسبب السرطان لذا أضطر المسؤولين عن الصحة العامة لإعادة النظر

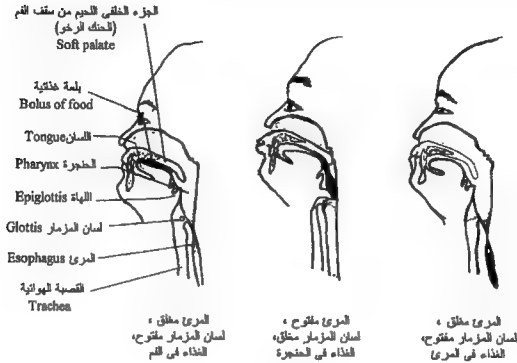
في هذه المعاملة. ٣٠٠- مضغ اللبان الخالي من السكر لمدة ٢٠ دقيقة بعد تناول الغذاء يقوم تكريفا بعمل فرشاة الأسنان في تنظيف الأنان. لكن المفضل إستعمال فرشاة الأسنان بعد تناول الطعام.

اللسان Tongue يلعب اللسان دور هام في بلع الطعام بعد مضغه وبالإضافة إلى أنه يساعد على الكلام أ.و. يحتوي أيضا على مستقبلات التذوق Taste receptors أو براعم التذوق Taste buds. ودة على السطح العلوي من اللسان. وبراعم التذوق هذه تنشط بواسطة أربعة أنواع أساسية من النكهات Flavors وهي : ١- الحلو Sweet. ٢- اللاذع Sour. ٣- الحانق (الملحي) Salty. ٤- المر Bitter (شكل ٩-٤). وعملية خلط أكثر من نكهة من هذه النكهات بجانب الروائح التي تصاحب كل نكهة على حدة يعطى الأغذية تشكيلة متنوعة من التذوق.



شكل (٩-٤) : الشكل يوضح براعم التذوق وموقعها على اللسان

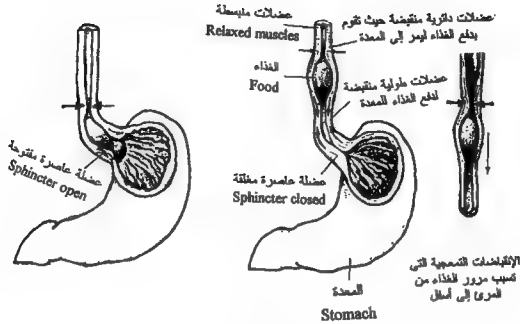
عملية البلع الإنعكاسى Swallowing reflex. ويعرف البلع الإنعكاسى على أنه إقباضات لا إرادية لمضلات جدار البلعوم والتي تقوم بدفع الغذاء إلى المريء (شكل ٩-٥).



شكل (٩-٥) : ديجرام يوضح عملية بلع الغذاء من الفم إلى المريء.

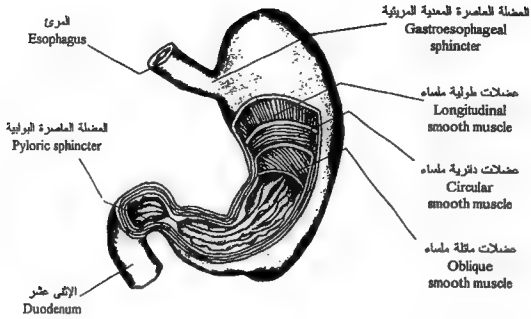
وفى المريء تقوم العضلات اللاإرادية بجدار المريء بعملية دفع البلمة الغذائية إلى المعدة حيث تنقبض عضلات المريء أعلى البلمة الغذائية المراد ابتلاعها (شكل ٩-٦). لتتقعرها إلى أسفل فى إتجاه المعدة وتسمى هذه الحركة اللاإرادية بالحركة الدودية Peristalsis وفى بعض الأحيان (أثناء عملية القيء Vomiting أو إستقراغ محتويات المعدة) تحدث حركة دودية لكنها فى الإتجاه العكسى وتسمى بالحركة الدودية العكسية Reverse peristalsis وآلية التى هذه تحدث إما كعمل وقائى لتفليس المعدة من مواد غريبة ضارة مثل الأغذية الفاسدة والفيروسات والبكتيريا أو إما لوجود مواد مهيجة فى المعدة أو إلى بعض الأمراض الأخرى المسببة لذلك.

٣- المعدة Stomach : المعدة تشبه الكيس وفى عضو عضلى قابل للتمدد (شكل ٩-٧) وتقوم بعدة وظائف أهمها: ١- تخزين Storage وإسالة Liquification الغذاء ٢- يحدث بها هضم جزئى للغذاء. ٣- تنقل محتوياتها إلى الأمعاء الدقيقة بعد جعلها فى شكل خلطة شبه سائلة تسمى الكيموس ويتم هذا النقل فى نبضات محددة Timed pulses تتناسب مع عمليتى الهضم

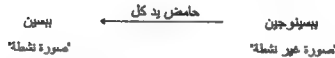


شكل (٩-٦) : دوجرام يوضح صلية ابتلاع الكتلة الغذائية وتوصيلها للمعدة.

والإمتصاص بالأعواء الدقيقة. والمعدة تقع في الجانب الأيسر من التجويف الصدري حيث يقوم بحمايتها جزئياً القلص الصدري. ويوجد عند إتصال المعدة بالمريء صمام وظرفى يسمى الصمام المعدى المريئ Gastroesophageal sphincter وهو ناتج عن زيادة بسيطة في سمك الجدار العضلى للمعدة عند إتصالها بالمريء وفائدة هذا الصمام هو منع الغذاء "بعد دخوله للمعدة" وللحامض الموجود بالمعدة من العودة إلى أعلى (النفاد مرة أخرى في الإتجاه العكسى) حيث يسبب هذا تهيج للمريء وحرقان في قم المعدة Heartburn. وعند وصول الغذاء إلى الجزء السفلى من المريء يفتح هذا الصمام ليمسح للغذاء بالدخول إلى للمعدة ثم يقل في الحال ليمنع نفاذ الحامض المعدى HCL إلى المريء. والغدد المبطنية لجدار المعدة Gastric glands تقوم بإفراز حمض الهيدروكلوريك المعدى HCL بالإضافة إلى سائل مائى لتحويل للغذاء إلى عجينة Pasta ومجموعة إنزيمات هاضمة للبروتين تسمى في مجملها بالببسين Pepsin وتلرز إنزيمات الليبين في صورة غير نشطة تسمى ببسينوجين Pepsinogen ويتم حمض الهيدروكلوريك المعدى HCL بتحويلها إلى الصورة النشطة Pepsin.



شكل (٧-٩) : ديجرام يوضح شكل المعدة وعضلات جدار المعدة.



والوظيفة الأساسية لحمض الهيدروكلوريك HCl هي إذابة أجزاء الغذاء عن طريق عمله على تغيير تآين الجزيئات المستقطبة Polar molecules خصوصاً البروتينات. كما يعمل على تكسير النسيج الضام الخارج خلوى والذي يشكل الهيكل التركيبى لأنسجة الغذاء. ولذا فإن حمض الهيدروكلوريك يقوم بإسالة الغذاء. ومع خض الغذاء عن طريق الحركة الدودية اللاإرادية للمعدة يصبح الغذاء فى صورة شبه سائلة تسمى الكيموس Chyme. والمعدة فى الإنسان البالغ تتمكن من الاحتفاظ بحوالى ٢-٤ لتر من الكيموس ثم تدفعه تدريجياً (فى نبضات) بمعدلات تناسب الهضم والامتصاص فى الأمعاء الدقيقة. ولا يحدث فى المعدة إلا قليل جداً من الهضم الإنزيمى وذلك فيعتبر الدور الرئيسى للمعدة هو تجهيز الغذاء للهضم فى الأمعاء الدقيقة. ومثلاً لذلك فى المعدة يتم تغيير طبيعة البروتين Denaturated بواسطة حمض HCl وهذا التغيير يسمح لإنزيم البيسين أن يبدأ هدم البروتين إلى أجزاء ببتيدية كبيرة وهذه الأجزاء يتم هضمها فى الأمعاء الدقيقة. كما يحدث هضم جزئى للدهون

بمساعدة إنزيم الليباز Lipase المفرز من الغدد اللعابية والذي يصل للمعدة مع الغذاء. كما يحدث هضم جزئي لبعض السكريات المعقدة عن طريق إنزيم الأميليز Amylase المفرز من الغدد اللعابية والذي يصل للمعدة مع الغذاء.

وحمض الهيدروكلوريك HCl المعدي يسبب قتل معظم البكتيريا القادمة مع الغذاء من الفم والكمية الباقية من هذه البكتيريا تبقى لتتكاثر في الأمعاء الغليظة. والتأثير الهضمي للمعدة هو تحويل الغذاء إلى صورة شبه مسائلة تسمى الكيموس Chyme والتي تحتوي على الجزيئات الصغيرة من البروتينات والسكريات العديدة وحبوبات الدهن وخلافا للإعتقاد الشائع لا يحدث إمتصاص للغذاء في المعدة أى لا تستطيع أى من نواتج الهضم هذه عبور جدار المعدة، ويستثنى من ذلك مواد قليلة مثل الكحول والأسبرين حيث تخترق كميات قليلة منها الأغشية المبطن للمعدة وتدخل إلى مجرى الدم. وفي حالة تعاطي الكحول في معدة خالية من الغذاء فإنه يمر بسرعة خلال جدار الأمعاء إلى الدم ليسبب تأثير مباشر، أما وجود الغذاء بالمعدة فإنه يبطئ إمتصاص الكحول كما يبطئ أثره كذلك. كما يمتص الأسبرين من خلال جدار المعدة، وكمية الأسبرين الزائدة تسبب نزيف وتهيج لجدار المعدة ويمكن أن تسبب قرحة Alcer في المعدة أيضا. وقد تتكون للقرحات أيضا كنتيجة لوجود الحامض المعدي HCl مع الإنزيمات المحللة للبروتين (بيسين Pepsin). لكن هناك آليات تعمل على حماية المعدة من التدمير بواسطة إفراز قوى يطن المعدة يسمى المخاط Mucus والذي ينتج بواسطة بعض خلايا بطانة المعدة ويحميها من الحامض، كذلك يتم حماية الأسجة أسفل الغشاء الطلائي للمعدة بواسطة الاتصالات المحكمة لخلايا للنسيج الطلائي التي تكون حاجز ضد التسرب.

لكن في بعض الأحيان هناك عوامل تسبب خلل في آليات حماية المعدة، من هذه العوامل تناول الكحوليات والقهورة والأسبرين والاضغوط Stresses وهي عوامل جميعها تسبب زيادة مستوى الحامض وملامسته لطبقة الخلايا الطلائية حيث يبدأ إنزيم البيسين في هضم أجزاء من المعدة مسببا قرح. وإذا تم إكتشاف القرع في بادئ الأمر فيمكن علاجها عن طريق تناول أغذية معينة وتقليل الضغوط وإزالة أسباب هذه القرع كمنع تناول الكحوليات وغيرها" أما إذا إكتشفت في وقت متأخر ففى هذه الحالة يلزم للتدخل الجراحي لإزالة أجزاء من المعدة.

ينتقل الغذاء من المعدة إلى الأمعاء الدقيقة : بعد إسالة الغذاء وجعله في صورة شبه مسائلة تقوم المعدة عن طريق الإنقباضات الدودية للمضلات بنقله على نبضات إلى الأمعاء الدقيقة بحيث تتلق هذه النبضات مع هضم وإمتصاص هذه الدفعات في الأمعاء الدقيقة. لذا تستغرق هذه العملية من ٢-٦ ساعات تبعا لحجم ونوع الغذاء المتناول. وعند وصول كتلة غذائية إلى نهاية المعدة يفتح الصمام البوابي Pyloric sphincter وينقب الكيموس إلى الأمعاء الدقيقة (لاحظ أن الصمام البوابي

عبارة عن حلقة من العضلات الملماء عند اتصال المعدة بالأمعاء الدقيقة). وبعد تفريغ المعدة تستمر الإنقباضات الدوئية في المعدة ويحس بها الفرد في صورة آلام الجوع Hunger pangs. هذا ويتم تنظيم إفراز حمض الهيدروكلوريك HCl عن طريق الأجهزة الهرمونية والعصبية. فريزة الطعام أو تنوكه ينشط مراكز في المخ هذه المراكز تنقل نبضات عصبية للمعدة عن طريق العصب الحائر Vagus nerve حيث ينتهي العصب للحق في المعدة وينشط إفراز HCl كما تنشط هذه النبضات أيضاً إفراز هرمون الجاسترين Gastrin من المعدة وهذا الهرمون ينشط أيضاً الغدد المعدية لإفراز HCl. هذا بالإضافة إلى أن وجود البروتينات والبيبتيدات بالمعدة ينشط إفراز الحامض أيضاً. (لاحظ أن الحامض لو تم إنتاجه باستمرار فإنه يسبب خطر على بطانة المعدة لذلك فكما أوضحنا من قبل فهو ينتج وقت الحاجة فقط).

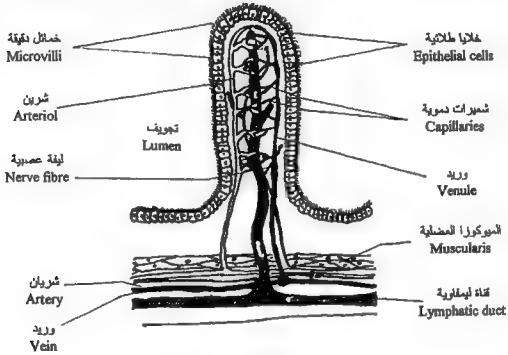
٤- الأمعاء الدقيقة والغدد الملحقة بها The Small Intestine And Associated Glands

Glands : الأمعاء الدقيقة تحدث بها المراحل النهائية للهضم وأيضاً الإمتصاص. وسميت بالأمعاء الدقيقة لصغر قطرها. وهي عبارة عن أنبوبة ملتوية تقع في التجويف البطني وطولها في الإنسان البالغ حوالي ستة أمتار. ويدخل الأمعاء الدقيقة يحدث تحليل للمواد الغذائية الكاملة أو المهضومة جزئياً إلى سكريات أحادية Monosaccharides وأحماض دهنية Fatty acids وأحماض أمينية Amino acids بواسطة الإنزيمات التي تقوم بالتحليل المائي للكريهيدرات والبروتين والدهون وتسمى هذه المجموعة من الإنزيمات بالـ Hydrolytic enzymes وهي تأتي من مصدرين بعض منها يفرز من البنكرياس والبعض الآخر من هذه الإنزيمات يوجد على سطح الخلايا المبطنة للأمعاء الدقيقة ونتيجة لذلك فإن المرحلة الأخيرة من الهضم تحدث قبل إمتصاص العناصر الغذائية إلى الخلايا مباشرة (لاحظ أن الجزيئات الكبيرة يتم هضمها إلى شظايا كبيرة نسبياً عن طريق فعل إنزيمات البنكرياس ثم تهضم هذه الشظايا على أسطح الخلايا الطلائية المبطنة للأمعاء الدقيقة والموجود بأغشيتها المجموعة الأخرى من الإنزيمات لذا فهذه الإنزيمات تهضم هذه الشظايا ثم تمتص مباشرة). ثم تمتص الأحماض الأمينية أو الأحماض الدهنية أو السكريات الأحادية وتنقل إلى الدم والجهاز الليمفاوي (الجهاز الليمفاوي Lymphatic system هو عبارة عن شبكة من الأوعية التي تحمل السائل خارج الخلايا من أنسجة الجسم إلى الجهاز الدوري، كذلك ينقل الدهون الممتصة في الأمعاء إلى مجرى الدم). أما بالنسبة للفيتامينات والماء والأملاح فجميعها لا تحتاج إلى هضم إنزيمى و تمتص لى الأمعاء الدقيقة أيضاً.

التحور في التركيب لأداء وظيفة الإمتصاص في الأمعاء الدقيقة : توجد في الأمعاء الدقيقة ٣ تحورات تركيبية تزيد من كفاءة وتعمل صلية الإمتصاص هذه التحورات هي -١- جدار الأمعاء

الدقيقة للداخل يحدث به ثبات على شكل دائري تسبب زيادة المسطح الكلي للأمعاء. -٢- توجد على هذه الثنيات كثير من البروزات تسمى خملات Villi حيث تزيد أيضا المساحة المتاحة للإمتصاص. -٣- توجد على أسطح الخلايا الطلائية لهذه الخملات خملات دقيقة Microvilli والتي تسبب زيادة أكبر في مسطح الإمتصاص. وبالتالي فهذه التحوّرات تسبب زيادة المسطح الداخلي للأمعاء الدقيقة بمقدار ٦٠٠ ضعف عنه في حالة عدم وجودها.

وتحتوي كل خميلة في الأمعاء الدقيقة على شعيرات دموية ولمفاوية غزيرة لتقوم بنقل العناصر الغذائية. (شكل ٨-٩). حيث تنتشر معظم العناصر الغذائية إلى الشعيرات الدموية فيما عدا



شكل (٨-٩) : الشكل يوضح أن كل خميلة تحتوي على شبكة من الأوعية الدموية وشبكة من الأوعية اللمفاوية

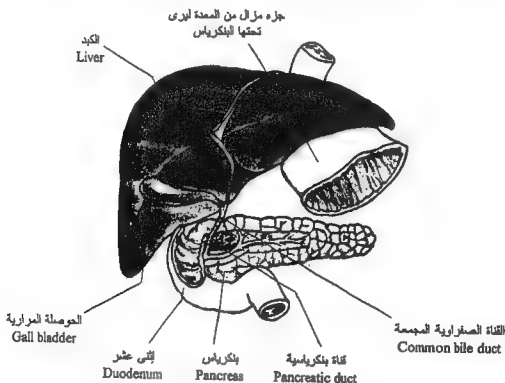
الأحماض الدهنية وأحادية الجليسريدات فهي تنتشر أولاً إلى الخلايا الطلائية المحيطة بالخملات وتعيد تكوين ثلاثي الجليسريدات. ثم يتحد ثلاثي الجليسريدات مع الكولسترول والفوسفوليبيدات (الامتصة بواسطة الخلايا الطلائية) ثم تخرج من الخلايا الطلائية إلى السوائل بين الخلوية عن طريق الطرد الخلوي Exocytosis. وفي السوائل خارج الخلايا تكون الليبيدات جزيئات صغيرة تنتقل عن طريق الأوعية اللمفاوية إلى مجرى الدم.

هذا وتقسم الأمعاء الدقيقة إلى ثلاث قطع أو أجزاء هي : ١- الإثنى عشر Duodenum وهو القطعة الأولى القصيرة يليها ٢- الصائم Jejunum وهذا يليه ٣- اللقطة الطويلة والتي

تسمى **الثلاثي Ileum** ويجدر الإشارة أن صليوات الإمتصاص تحدث معظمها في الربع الأول من الأمعاء وهي الإثني عشر والصائم.

وهناك ثلاثة أعضاء تعمل بالتنسيق مع الأمعاء الدقيقة وهي غدد الأمعاء (وتحدثنا عنها من قبل) والكبد والبنكرياس وللذان يوصلان إفرازاتهما إلى الإثني عشر من خلال قننوات، وسوف نتعرض لهما بنوع من التفصيل المبسط بإذن الله.

الكبد Liver : هو غدة كبيرة (أكبر عضو في الجسم) تقع في الجزء الأيمن العلوي من البطن (شكل ٩-١) وهو من أهم أماكن تخزين الجليكوجين والدهون. وهو من أكثر أعضاء الجسم تنوعاً من حيث الوظائف حيث يقوم بوظائف كثيرة مختلفة ومتعددة. لكن إفراز الكبد المتعلق بهضم هو أسلح الصفراء **Bile salts** وهي إسترويدات تنتج بواسطة خلايا الكبد وهي لازمة لهضم الدهون، وتنتقل



شكل (٩-١) : الشكل يوضح أعضاء الهضم وهم الكبد والبنكرياس والحوصلة الصفراوية
منقول من مرجع رقم ٣ بكتابة المراجع

الصفراء إلى الحوصلة الصفراوية أو المرارية Gallbladder (وهي كيس متصل بالجانب السفلي من الكبد) (شكل ٩-١) عن طريق قننوات صغيرة تتحد لتكون القناة الكبدية العامة Common hepatic duct وتقوم الحوصلة الصفراوية بإزالة الماء من الصفراء وبالتالي يزداد تركيز الصفراء. وأثناء الأكل

أو عند الحاجة تنقبض العضلات للمعاء بجدار الحوصلة المرارية لتتدفق محلول الصفراء المركز إلى الاثنى عشر عن طريق القناة الصفراوية العامة Common bile duct التي هي امتداد للقناة الكبدية العامة Common hepatic duct (شكل ٩-٩) وأملاح الصفراء تعتبر عوامل مساعدة على تكوين المستحلب Emulsifying agents أى تعمل على تكسير حبيبات الدهن إلى حبيبات أصغر وهذا النقص فى حجم الحبيبات لازم لهضم الدهن لأن الأمعاء الدقيقة لا تهضم الحبيبات الكبيرة بكفاءة. وفى بعض الأحيان يسوق مرور الصفراء إلى الأمعاء الدقيقة وجود حصوات صفراوية Gallstones وهي ترسيبات من الكولسترول ومواد أخرى تتكون فى الحوصلة الصفراوية. وفى هذه الحالة فغياض أملاح الصفراء ينقص من هضم الليبيدات بدرجة كبيرة وإذا تصل حبيبات الدهن إلى الأمعاء الغليظة حيث تعمل عليها البكتريا وتحللها ولكنها لا تمتص وتعطى للبراز رائحة كريهة ناتجة من تحلل الدهون. وفى هذه الحالة يمكن إستعمال الأدوية أو وسائل أخرى لإذابة الحصوات بدون جراحة أو التدخل الجراحى لإزالة الحصوات أو إزالة الحوصلة المرارية كلها. ويمكن إزالة الحوصلة المرارية دون حدوث جرح فى إفراز الكبد للصفراء أو فى تدفق الصفراء إلى الاثنى عشر (لاحظ أن كثير من الحيوانات لا يحتوى كبدها على حوصلة مرارية ورغم ذلك تفرز الصفراء). والحصوات المرارية توجد فى الأشخاص البالغين وتزداد نسبة وجودها مع تقدم العمر.

البنكرياس The Pancreas : وهي غدة طويلة تقع تحت المعدة ويستقر فى إلتواء فى الجزء الأول من الأمعاء الدقيقة وهي الاثنى عشر (شكل ٩-٩). والبنكرياس به جزء ذات إفراز داخلى Endocrine gland ويقوم بإفراز هرمونى الجلوكاجون والإنسولين. وجزء ذات إفراز خارجى Exocrine وهو ما سوف نتناوله بإذن الله بالشرح حيث يفرض : ١- إنزيمات هاضمة لكل العناصر الغذائية للعضوية. ٢- إفراز غنى بالبيكربونات التى تملأ حموضة الكيموس للدخل للإثنى عشر من المعدة وهذا أساسى لعمل إنزيمات البنكرياس التى تكون غير نشطة فى الوسط الحامضى.

وإنزيمات البنكرياس للهاضمة تنتج فى وحدات غدية صغيرة وتنقل بواسطة قنوات تتجمع لتكون قناة بنكرياسية كبيرة حيث تتصل القناة البنكرياسية مع القناة الصفراوية قبل أن تصب فى الاثنى عشر. ويومياً يتم إنتاج من ١,٢ إلى ١,٥ لتر من العصارة البنكرياسية التى تفرز فى الأمعاء الدقيقة. والعصارة البنكرياسية تتكون من ماء وبيكربونات صوديوم وعديد من الإنزيمات الهاضمة. وتعمل بيكربونات الصوديوم (قلوى) على معادلة الحامض الأتى من المعدة وبالتالي فهي توفر حماية لجدار الأمعاء الدقيقة من الحامض وكذلك توفر ظروف مناسبة لعمل إنزيمات البنكرياس الهاضمة التى تم التعرض لها سابقاً وهي : ١- أميليز البنكرياس Pancreatic amylase ويقوم بهضم النشا والمالتوز. ٢- التربسين والكيموتربسين Trypsin and Chemotrypsin وتقوم بهدم البروتين

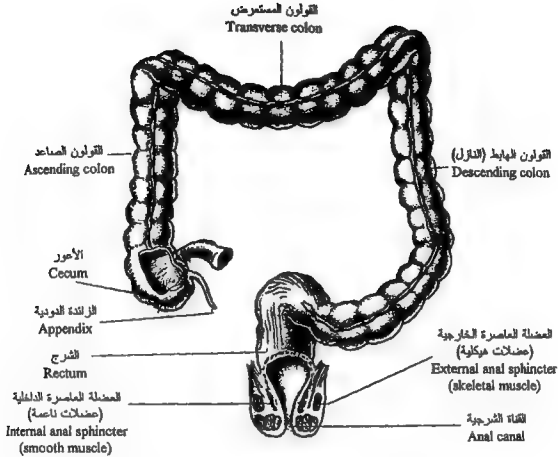
لتكوين بيتيدات. -٣- إنزيم ليبوز البنكرياس Pancreatic lipase ويقوم بإزالة بعض الأحماض الدهنية من جزئ الجليسرول مكوناً أحادى الجليسريدات. -٤- إنزيمى Deoxyribonuclease & Ribonuclease يقومان بهضم RNA & DNA إلى سلاسل نيوكليوتيدية أقصر.

هذا ويساعد البنكرياس على العملية من التكبير الذاتى أن يقوم بإفراز الإنزيمات فى صورة غير نشطة ثم تنشط هذه الصورة فى مكان عملها حتى لا تتهدى وتدمر خلايا البنكرياس نفسه ومثالا لذلك التربسينوجين Trypsinogen فهو الصورة الغير نشطة للإنزيم الهاضم للبروتين وهو التربسين Trypsin. ويتم تحويل التربسينوجين إلى تربسين بواسطة مادة فى الخلايا الطلائية المبطنه للأمعاء الدقيقة ثم يقوم التربسين الناتج بتنشيط الإنزيمات الأخرى.

هذا ويجدر الإشارة أن حركة الأمعاء الدقيقة والتي تسببها العضلات الناعمة الموجودة بجدارها تسبب الاتى : -١- خلط محتويات الغذاء والإفرازات مع بعضها البعض. -٢- جعل نواتج الهضم تلامس أسطح الخلايا الطلائية التى عليها يحدث الإمتصاص. -٣- تدفع محتويات الأمعاء للدقيقة ببطء فى اتجاه الأمعاء الغليظة.

٥- الأمعاء الغليظة Colon Or Large Intestine: سبب تسميتها بالأمعاء الغليظة هو كبر قطرها. وطول الأمعاء الغليظة حوالى ١,٥ متر (شكل ٩-١٠). ويدخل الأمعاء الغليظة خليط من الماء والغذاء الغير مهضوم (دهون - بروتينات - ألياف... الخ). وتحتوى الأمعاء الغليظة على أعداد كبيرة جداً من البكتريا التى تتغذى على هذه الأغذية وتقوم بتكوين مجموعة فيتامينات يحتاجها الجسم مثل B-12 والثيامين والريبوفلافين وفيتامين K وهى غير متوفرة فى غذاء الإنسان غالباً ثم تمتص الأمعاء الغليظة هذه الفيتامينات وأيونات الصوديوم والبوتاسيوم وحوالى ٩٠% من الماء المتبقى فى البراز. ويتم إخراج البراز عن طريق النشاط الإنقباضى لجدار المستقيم Rectum والعضلات المعاصرة Sphincter muscles. وعند إتمام المستقيم فإنه ينشط الفعل الإنعكاسى للكتبرز Defecation reflex (لاحظ أن الفعل الإنعكاسى للكتبرز يمكن التغلب عليه إرادياً فى فترة مبكرة من عمر الإنسان).

تنظيم عملية الهضم Controlling Digestion : يقوم بتنظيم عملية الهضم أساساً جهازان هما الجهاز العصبى والجهاز الهرمونى. والهضم عملية معقدة تبدأ فى الفم تحت تأثير عصبى حيث يفرز اللعاب بناء على شئ أو رؤية أو تلوذ الطعام. وهذه المنبهات ومضغ الطعام تجعل المخ يرسل إشارات عن طريق العصب الحائر إلى المعدة لإفراز كميات إنشائية من حمض HCl. وينظم إفراز HCl فى المعدة عن طريق التنظيم الرجعى السالب فزيادة إفراز الحمض تثبط إنتاج هرمون الجاسترين Gastrin وبذا يتوقف إفراز HCl. كما يؤدى وجود البروتين فى المعدة إلى خفض تركيز



شكل (٩-١٠) : دوجرام يوضح الأمعاء الغليظة وتتكون من أربعة أجزاء هي : Cecum, appendix, colon and rectum.

منقول من مرجع رقم ٣ بقائمة المراجع

HCl عن طريق الارتباط مع أيونات الهيدروجين الحرة (H^+) والذي يؤدي إلى نقص الحموضة وبالتالي تنشيط إنتاج الجاسترين وإفراز الحامض. والحامض الموجود بالكيموس بعد دخوله للأمعاء الدقيقة ينشط إفراز هرمون من الأمعاء الدقيقة اسمه سكرتين Secretin وهو يفرز من خلايا الإثنى عشر وينقل عن طريق الدم إلى البنكرياس لينشط إفراز بيكربونات الصوديوم من البنكرياس. كما يوجد هرمون آخر يسمى Cholecystokinin (CCK) ويفرز من خلايا الإثنى عشر أيضا تحت تأثير وجود الكيموس بها ويصل هذا الهرمون عن طريق الدم إلى البنكرياس لينشط إفراز إنزيمات الهضم البنكرياسية. كما يقوم CCK أيضا بتنشيط إقباض الحوصلة الصفراوية وإفراز الصفراء في الأمعاء الدقيقة.

و قد وجد أن هرمون CCK يعمل مع بعض الهرمونات الأخرى فى المخ فى منطقة الهيبوثالامات لىسبب مرض الشره المرضى **Bulimia** (يتميز المريض بهذا المرض بزيادة عدد مرات تناوله للغذاء الذى يبعثه تقوى) ولتنبه النماء المصابات بهذا المرض أعلاما من الرجال ويعتقد أن لهذا المرض أسباب بيولوجية ونفسية غير معروفة حتى الآن لكن الواضح أن هرمون CCK له دور. ويوجد هرمون آخر يفرض من الأمعاء الدقيقة ليؤثر على المعدة ويسمى الببتيد المثبط للمعدة Gastric Inhibitory Peptide (GIP) وتفرز خلايا الأمعاء الدقيقة هذا الهرمون كاستجابة لوجود السكريات والأحماض الدهنية فى الكيموس وينتقل عن طريق الدم إلى المعدة ليثبط إنتاج الحامض والحركة الدودية فى المعدة وبالتالي فهو يبطئ معدل مرور الكيموس إلى الأمعاء الدقيقة كما يوفر وقتا إضافيا لإتمام عمليات الهضم والإمتصاص فى الأمعاء الدقيقة (حيث يؤخر وصول كتلة الكيموس الغذائية التالية إلى الأمعاء الدقيقة) ويجدر الإشارة هنا أن تجويف القناة المعوية يعتبر إستمرار للبيئة الخارجية (بيئة خارج الجسم وليست داخله) أو بمعنى آخر أن محتويات القناة الهضمية بالرغم من وجودها داخل الجسم إلا أنها تعتبر خارج الجسم، ولإيضاح ذلك خذ مثلا الأمعاء الغليظة التى يعيش بداخلها بلايين البكتريا هذه البكتريا فى هذا المكان غير ضارة بل تقوم بإنتاج مجموعة من الفيتامينات التى يتمصها الجسم وبالتالي فهي تعتبر نافعة. أما لو فرضنا وصول هذه الأنواع من البكتريا إلى دم نفس الشخص التى هى داخل أمعاؤه للغليظة فهي تسبب له تسمم ووفاء والدليل على ذلك أنه عند إنفجار الأور (الازدانة الدودية) فى بعض الأفراد تصل هذه البكتريا إلى الدم وتسبب له تسمم ووفاء.

هذا ويمكن تلخيص وظائف الجهاز المعوى فى خمسة وظائف هى : ١- الهضم

- ١- **Digestion** وهو عبارة عن تحليل وإذابة الجزيئات الكبيرة إلى جزيئات صغيرة ويسهل إمتصاصها.
- ٢- الإفراز **Secretion** ويشمل حمض الهيدروكلوريك المفرز من المعدة. والعصارة البنكرياسية المفرزة من البنكرياس وأملاح الصفراء المفرزة من الكبد وجميع الهرمونات والإنزيمات الهاضمة المفرزة من المعدة والأمعاء الدقيقة. ٣- الإمتصاص **Absorption** والذى عن طريقه تنتقل جزيئات العناصر الغذائية المهضومة والماء والأملاح والفيتامينات عبر الخلايا الطلائية المبطنة لجدار القناة الهضمية لتصل إلى لادم أو اللثيف. ٤- الحركة **Motility** وهى ناتجة عن انقباض العضلات للمساء بجدار القناة المعوية لتثناء حدوث التشنج والإفراز والإمتصاص وتؤدى هذه الحركة وظيفتها منها خلط محتويات القناة المعوية وتسهيل الإمتصاص والإخراج. ٥-
- الإخراج **Expel the feces** وهو إخراج البراز من فتحة الشرج وهذا البراز **Feces** يحتوى على المخلفات الغير مهضومة ويكتربا ميتة ويتركب البراز تقريبا من ٣٠% بكتريا ميتة + ١٠% دهون + ١٠% مادة غير عضوية + ٢-٣% بروتين + ٣٠% سليولوز غير مهضوم أى أن

لنظامه بكتريا والطعام الذى لم يهضم ولم يمتص او بمعنى اخر فإن البراز يتركب من مواد لم تكن نتيجة أبدا جزءا من بيئة الجسم الداخلية.

الحياة الصحية ترتبط بالغذاء الصحيح Eating Right/Living Right : هناك أمراض كثيرة ناتجة من عدم الإتران الغذائى، منها المرطبان وأمراض القلب وارتفاع ضغط الدم وتصلب الشرايين... الخ. ولتلك هذه الأمراض وغيرها يجب تناول الغذاء الصحى المتزن وبكميات معتدلة. والأمثلة على عدم الإتران الغذائى كثيرة، نضرب منها مثالا بالمغنسيوم Magnesium فهو أحد المعادن الرئيسية لكن لا يتم عادة تناوله بكميات كافية فى الغذاء. ونقص المغنسيوم فى الغذاء يسبب أمراض كثيرة ومخاطر كثيرة أيضا خاصة بالنسبة للسيدات الحوامل. فمن الأمراض التى يسببها نقص المغنسيوم مرض السكر وارتفاع ضغط الدم وأمراض الجهاز الدورى، كما يسبب زيادة فرصة الإصابة بأمراض تصلب الشرايين بما يعادل ٨٠ إلى ٩٠%. أما بالنسبة للسيدات الحوامل فنقص المغنسيوم يسبب لهم صداع نصفى Migraines ونقص أوزان المواليد كما يسبب إنقباضات فى الأوعية الدموية للمشيمة وينقص ورود الدم إلى الجنين، ويتألى يحدث لجهاض وولادة أجنة ميتة وتشوهات فى الجنين ونقص أوزان الموليد. وقد تحدث أمراض نقص المغنسيوم بالرغم من وجوده بكميات طبيعية فى الغذاء والسبب فى ذلك هو تناول المشروبات الغازية بكميات كبيرة حيث أن هذه المشروبات تحتوى على الفوسفات وهذه الفوسفات تقوم بربط المغنسيوم فى الأمعاء وتمنع إمتصاصه فى الدم وبالتالي تحدث أمراض نقصه. ويمكن علاج نقص المغنسيوم بأكل كميات أكبر من أوراق الخضروات الخضراء والأعنية البحرية والحبوب الكاملة وقد يفقد أيضا تناول كبسولات المعادن لكن يجب أن يكون ذلك تحت إشراف متخصص.

ومثال آخر لأحد المعادن الدقيقة وهو الزنك. فنقص الزنك يسبب نقص نمو وتطور الجنين كما تصل المواليد بعد ذلك إلى سن البلوغ الجنسى متأخرة. كما أن نقص الزنك يسبب نقص نسبة الذكاء وضعف القدرة على التعلم.

وقد دون خبراء التغذية حدة توصيات للمحافظة على الصحة العامة وتقليل مخاطر أمراض السرطان والتهابات القلبية وهذه التوصيات هى : ١- تناول اللواكه والخضروات يوميا مع تناول الكرنب أثناء تواجده فى موسمه. ٢- تناول خبز مصنع من تواتج طحن التمع بالكامل حيث احتواءه على الألياف وتناول أعنية عالية فى فيتامينات C & A. ٤- الحد من إستهلاك الدهون الحيوانية واللحم الأحمر والأعنية المملحة المعالجة بالنيترات أو المملحة أو المدخنة والمخللات والأعنية المحفوظة بمواد حافظة والأعنية سريعة التجهيز والمعلبات والمشروبات الغازية. وخلاصة القول أنه يفضل تناول كل ما هو طازج وفى صورته الأصلية (الطبيعية).

ما تحدثنا عنه سابقاً في هذا الباب كان يختص جميعه بالإنسان، ولكن هناك بعض الاختلافات الموجودة بين الإنسان والحيوان في الجهاز الهضمي، بمعنى أن هناك إختلاف في التركيب التشريحي للقناة الهضمية بين كلا من الإنسان والأغنام والطيور وأى أنواع أخرى من الحيوانات.

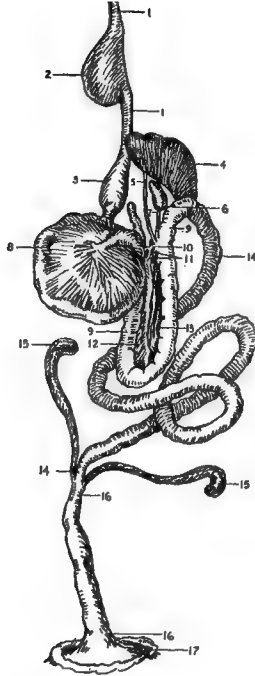
ويجدر هنا الإشارة أنه بالنسبة لعلم وظائف الأعضاء في الحيوان لا يختلف عن الإنسان إلا فقط في الجهاز الهضمي أما باقي أجهزة الجسم جميعها فهي لا تختلف من حيوان إلى حيوان آخر إلى الإنسان بل جميعها لها نفس التركيب وتؤدي نفس الوظيفة خذ مثالا للدورة الدموية فهي لا تختلف بين الإنسان والقرود والأغنام والأبقار والجاموس والجمال... الخ ونفس الشيء بالنسبة للجهاز التنفسي وباقى أجهزة الجسم. أما بالنسبة للجهاز الهضمي فهو يختلف تبعا لطبيعة الغذاء وطريقة هضمه. وإستكمالا لهذا الباب سوف نضرب مثالين لجهازين هضميين مختلفين عن بعضهم وعن الإنسان أيضا هذه الأمثلة هي للجهاز الهضمي للدجاج وهو يمثل الجهاز الهضمي لمعظم أنواع الطيور. والجهاز الهضمي في الأبقار وهو يمثل الجهاز الهضمي في الحيوانات المجترة. والتي تتحور فيها المعدة إلى أربعة أجزاء حتى تتمكن من هضم السليلوز Cellulose. كما أن هناك أيضا عدد كبير من الحيوانات الغير مجترة Non-ruminant mammals والتي تعتمد أيضا على المعوية التكافلية مع الكائنات الدقيقة في عملية الهضم الخلوي بالرغم من أن تركيب المعدة فيها مختلف عن تلك في الحيوانات المجترة. وسوف نضرب مثالا أيضا لهذه الحيوانات بالمعدة الخاصة بحيوان اسمه الكسلان Sloth وهو حيوان من رتبة الأررد ويقع في أشجار الغابات.

: القناة الهضمية في الدجاج Alimentary Canal Of The Chicken

أعضاء القناة الهضمية Digestive tract في الدجاج تبدأ بالمنقار Beak - الفم Mouth والفرد اللعابية Salivary glands - اللسان Tongue (لاحظ أنه لا يوجد لسان) - البلعوم Pharynx - المريء Esophagus - للحوصلة Crop - معدة الطائر الحقيقية Proventriculus القنوصة (أو قد تسمى معدة الطائر الثانية) Gizzard الأمعاء Intestines - الأعور Ceca - الأمعاء الغليظة Large intestine أو المستقيم Rectum - فتحة المجمع Cloaca. (شكل ٩-١١).

وطول الأجزاء المختلفة من القناة الهضمية في الدجاج يختلف باختلاف نوع الطائر وحجمه ونوع الغذاء وعوامل أخرى. وعموما فالطيور التي تأكل ألياف خشنة يكون لها قناة هضمية طويلة نسبيا.

١- الفم والبلعوم Mouth and Pharynx الفم يبدأ بالمنقار وهو ملائم مورفولوجيا لإلتقاط الغذاء وبدخله للسان وتفرعات قنوات الغدد اللعابية ولا يوجد لسان كما لا يوجد أيضا حد فاصل بين الفم والبلعوم وتجويف الفم مبطن بنسيج طلائي حرشفي مصف.



شكل (٩-١١) : القناة الهضمية في النجاجة : ١ & ٢ المرئ والحوصلة - ٣- المعدة الحقيقية - ٤- الكبد - ٥- للقناة الكبدية - ٦- الحوصلة المرارية - ٧- قناة من الحوصلة المرارية - ٨- لقونصه - ٩- الاثنى عشر - ١٠- البنكرياس - ١١- القنوات البنكرياسية البطنية - ١٢- القنوات البنكرياسية الظهرية - ١٣- الجزء البطنى من البنكرياس - ١٤- الأمعاء الدقيقة - ١٥- الأعور - ١٦- المستقيم أو الأمعاء الغليظة - ١٧- فتحة المجمع.

٢- المريء والحوصلة Esophagus And Crop (شكل ٩-١١) مريء الدجاجة الثامنة النمو

حوالي ٨-٦ بوصة (١٥-٢٣ سم تقريبا) وهي مبطنة بلسيج طلاى حرقنى مصنف ويوجد به غدد مخاطية Mucous glands. أما الحوصلة فلها نفس التركيب مثل المريء فيما عدا أن الغدد المخاطية غير موجودة إلا عند اتصال المريء بالحوصلة. والحوصلة تكون موجودة وكاملة التكوين فسى بعض أنواع الطيور مثل للدجاج والبط والحمام وفى بعض الطيور أكلة الحشرات والديدان وبعض الطيور البرية ممكن أن تغيب الحوصلة ولا توجد.

٣- المعدة الحقيقية والقونصة Proventriculus And Gizzard : (شكل ٩-١١) المعدة

الحقيقية أو المعدة الغدية تختلف فى حجمها تبعا لإختلاف النوع فهى صغيرة نسبيا فى الحمام والدجاج ويمكن أن تكون كبيرة نسبيا فى طائر النورس Gull وطائر آخر مائى ضخيم يسمى الخناق Cormorant. والمعدة الحقيقية مبطنة بلسيج طلاى عمادى أو مكبى والذى يكون غدد قنوية بسيطة Simple tubular glands وأسفله طبقة ميوكوزا تحتوى على غدد فصية كاملة التكوين -Well-developed lobular glands والتي تتصل مع تجويف المعدة الحقيقية بواسطة كتاة. أما الغطاء المصلى الخارجى للمعدة فهو مماثل لتلك الموجود فى المريء. والغدد المعدية فى الدجاج تحتوى على نوع واحد من الخلايا هذا النوع يقوم بإفراز كلا من الحامض المعدى HCl وإنزيم الببسينوجين Pepsinogen وهو بذلك يختلف عن الغدد المعدية فى الثدييات حيث تخصص فيها نوع من الخلايا لإفراز HCl ونوع آخر لإفراز الببسينوجين. ويجدر الإشارة أيضا أن حوصلة الحمام Doves والحمام Pigeons تخصص لإنتاج اللبن الحويصلى فى الحمام أو الحمام. وتضاعف الخلايا طلائية بالحوصلة وإنتاج هذا اللبن يكون تحت تحكم هرمون يسمى البرولاكتين Prolactin والمفرز من الفص الأمامى للغدة النخامية. وفى بعض أنواع الطيور يوجد فاصل أو فاصل جزئى ما بين القونصة والأمعاء الدقيقة.

٤- الأمعاء الدقيقة The Small Intestine : (شكل ٩-١١) مثل الثدييات تتكون الأمعاء الدقيقة من الإثنى عشر Duodenum والصائم Jejunum واللفائلى Ileum. وتتميز ميوكوزا الأمعاء الدقيقة بوجود درجات متفاوتة من التطور من جيوب ليبركن Crypts of Lieberkuhn والنسيج طلاى يتكون عادة من طبقة واحدة من الخلايا المعدية البسيطة مع وجود بعض من Goblet cells والطبقة التى تلى الميوكوزا تحتوى على بعض قليل من الأوعية الدموية والأعصاب، أما طبقة العضلات الخارجية (تتكون من طبقة دخلية دائرية وخارجية مخططة) وهى غنية بالأوعية الدموية والأعصاب.

٥- الأور والأمعاء الغليظة وفتحة الجمع Cecae, Large Intestine And Cloaca :

يقع بدء مكان الأور عند اتصال الأمعاء الدقيقة بالأمعاء الغليظة. وفي بعض الأنواع يكون الأور طويل وبارز وموجود في أزواج (أي يوجد أحدين كما في الدجاج). وطول الأور في الدجاجة للثامه القمو حوالى ١٥سم. لو قد يوجد أور فردى واحد لو قد يوجد أور فردى بدائى (غير مكتمل) أو قد لا يوجد من الأصل. والتركيب الهستولوجى للأور مماثل للتركيب الهستولوجى لباقي الأمعاء.

وبالنسبة للأمعاء الغليظة فهي قصيرة نسبيا في الطيور ولا يوجد حد فاصل واضح بين المستقيم Rectum والقولون Colon كما في الثدييات. والأمعاء الغليظة (أو المستقيم) تفتح في فتحة الجمع Cloaca.

أما بالنسبة للغدد المساعدة وهي الكبد والبنكرياس فهي بالرغم من أنها ليست جزءاً من القناة الهضمية إلا أنها أعضاء مشتركة في عملية الهضم Digestion.

ويتكون الكبد من فصين وهو كبير نسبيا. وبعض أنواع الطيور مثل الدجاج Chicken والبطة Duck والأوز Goose لها حوصلة مرارية Gall bladder والبعض الآخر مثل الحمام Pigeon ليس له حوصلة مرارية. وتقع الحوصلة المرارية في السطح الظهري للكبد حيث يخرج منها القنوات الصفراوية والتي تفتح في الاثنى عشر بالقرب من جانبه البعيد (شكل ٩-١١).

ويقوم الطائر بإلتقاط الغذاء عن طريق المنقار. وفي القم يختلط الغذاء باللعاب. وفي الدجاج والبط والأوز يتم إبتلاع الغذاء وتوصيله للحوصلة عن طريق المرور السلبى للغذاء في المرئ حيث يقوم الطائر بعد إلتقاط الغذاء برفع رأسه ومد رقبته إلى الأمام. أما بالنسبة للحمام فهو مثل الحصان يمكن أن يشرب ورأسه إلى أسفل. وبالنسبة لمراكز الجوع والعطش فقد أثبتت البحوث أنها موجودة في منطقة تحت المهاد Hypothalamus ويتلقى فحيد من التنبيهات التي تصل للجهاز العصبى المركزى Central nervous system (CNS) تؤثر على كمية الغذاء المأكول بالنسبة للطائر. ومن هذه التنبيهات التي تصل للـ CNS الإنقباضات للمعدة الفارغة والجو البارد وروية الطعام. ومن العوامل التي تنشط تناول الغذاء (تقلل من الغذاء المأكول) الجو الحار والعطش وعمل المجهود Exercise وفي الجو الحار وإمتلاء المعدة. وقد وجد بالتجربة أن وضع أجسام صغيرة غريبة في مستقيم الدجاجة يسبب نقص الغذاء المأكول ونقص معدلات التحول الغذائى أيضا وقد دون أن التأثير هنا يكون عن طريق الهميوثالامات مثله مثل الثدييات تماما.

حركة الحوصلة Crop Motility : تقوم الحوصلة بعمل إنقباضات تختلف في إيقاعاتها وإتجاهاتها. وحركة الحوصلة الغير منتظمة هذه تتأثر بالحالة الصحية للطائر من ناحية الجوع وبعض العوامل الأخرى.

والإنتقباض التمعجي Peristaltic Contraction أو الإنتقباض على المحتوى يبدأ فى المرئ ويمتد لأسفل ليصل إلى الحوصلة والقونصة. وتوجد هذه الإنتقباضات غالباً تظهر فى صورة مجاميع تموجية كل مجموعة منها حوالى ٢-١٥ موجه فى تعاقبات زمنية من ١-٤ دقيقة. وتزداد سرعة الإنتقباض كلما كانت الحوصلة فارغة. وفى الحمار بعد ساعتين من تناول الغذاء يظهر الإنتقباض التمعجي فى مجموعات تموجية (٢-٤ موجه فى المجموعة) وفى تعاقبات زمنية قدرها ٥-٢٠ دقيقة. أما بعد ٥-١٢ ساعة فتظهر مجموعة التمعجات محتوية على ٦-٢٠ موجه فى المجموعة وفى تعاقب زمنى كل ١٠ إلى ٣٠ دقيقة. أما فى الطيور الجائعة والتي لا يوجد طعام فى حوصلتها فتظهر الإنتقباضات التمعجية فى مجاميع تموجية (٨-١٦ موجه فى المجموعة) وفى تعاقب زمنى قدره ١٠-٦٠ دقيقة. وقد وجد أن هذه الإنتقباضات التمعجية فى الحوصلة والمرئ تقع تحت تحكم عصبى حيث يصل للحوصلة والمرئ ألياف عصبية بارائيمتارية أتية لهم من العصب المبهم Vagus (عصب رثوى مدى).

حركة المعدة الحقيقية Motility Of Proventriculus : تنقبض المعدة الحقيقية فى الدجاجة الجائعة إنتقباضه واحدة كل دقيقة تقريباً وتكون معدلات الإنتقباض أعلا فى الذكور عنه فى الإناث وربما يرجع ذلك لارتفاع مستوى الهرمونات الذكرية. هذا ويستند بعض العلماء أن العصب المبهم Vagus يرسل ألياف عصبية للمعدة تنبها لمصلي الإنتقباض وأيضاً تنبها لمصلي الإفراز.

حركة القونصة Motility Of Gizzard : القونصة تقوم بطحن الغذاء بمساعدة بعض الرمال والأتربة التى يلتقطها الطائر. وتنقبض القونصة فى أغلب الأنواع تقريباً كل ٢٠-٣٠ ثانية. هذا وتؤثر الفترة بين إنتقباضتين على نوع الغذاء وأيضاً الجوع. فتجوع الطائر بسبب زيادة الفترة بين إنتقباضتين إلى ٥٠ ثانية بدلاً من ٣٠ ثانية.

هذا وتقوم القونصة أثناء إنتقباضها بالضغط على الغذاء الموجود بداخلها لطحنه ويساعدها فى ذلك وجود بعض حبيبات الرمال ولتقطع للصغيرة الصلبة من أى نوع من الأتربة والرمل. وقوة الضغط داخل القونصة تختلف تبعاً لنوع الطائر ونوع الغذاء وعمر الطائر وجنس الطائر فالضغط داخل القونصة أقوى فى الذكور عنه فى الإناث....الخ.

ويتم التحكم للعصبى فى إنتقباضات القونصة عن طريق ألياف عصبية أتية إليها من الجهاز العصبى السمبثارى ومن العصب المبهم Vagus حيث يوجد فى هذا العصب ألياف تنشط إنتقباض القونصة وألياف تثبط الإنتقباض. وقد وجد أن القونصة قادرة على الحركة الإنتقباضية أوتوماتيكياً لكن سرعة هذا الإنتقباض تكون تحت تحكم عصبى. حيث وجد أنه عند فصل القونصة عن اتصالها العصبى تستمر فى الحركة (الإنتقباض). كما وجد أيضاً أن هناك عقاير طبية تنشط وتثبط إنتقباض

القنصة فمثلا الأدرينالين (الإبينفرن Adrenaline (Epinephrine يزيد معدلات إنقباض القنصة بينما تثبط هذه المعدلات بواسطة الأتروبين Atropine.

حركة الأمعاء الدقيقة Motility Of Small Intestines : الأمعاء الدقيقة تقوم بعمل حركة تمعجية مقطعية (أي كل مقطع أو جزء يقوم بعمل حركة تمعجية) وهذه الحركة تكون منضبطة الإيقاعات وكثير من الباحثين يحس هذه الحركة إلى تحكم عصبى.

حركة الأعور والأمعاء الغليظة Motility Of Ceca And Large Intestines : يقوم الأعور بعمل حركة تمعجية أيضا ويعتقد بعض العلماء أن المنبه الرئيسى لهذه الحركة هو امتلاء الأعور من عنقه: فإبتلاء الأعور هو الذى ينبه المستقبلات العصبية لينشط هذه الحركة. ومثل باقى أجزاء القناة الهضمية يستقبل الأعور ألياف سمبثولية وألياف باراسمبثولية والتي تختص بحركته. والمعروف أن الحركة الأوتوماتيكية للأعور تثبط بواسطة هرمون الإبينفرن Epinephrine وتنشط بواسطة الأسيتل كولين Acetylcholine. وفى الحقيقة فالأعور حساس بدرجة كبيرة لهرمون الإبينفرن Epinephrine والمواد الكيماوية المشابهة له وقد استخدمت هذه الظاهرة فى الماضى المقارنة بين محاليل مختلفة التركيزات فى هرمون Epinephrine.

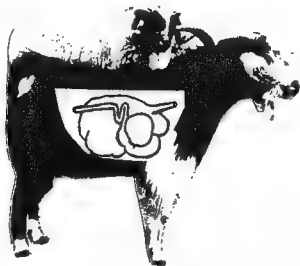
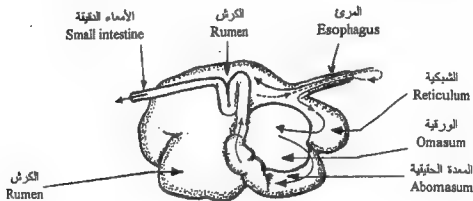
وقد ثبت وجود حركة تمعجية وحركة غير تمعجية فى الأمعاء الغليظة. والحركة الغير تمعجية تحدث على فترات بين كل فترة ٥,٦ ثلثيا ٦,٣ ثانية.

الجهاز الهضمى فى المجترات Digestive System In Ruminants : عدد

كثير من الحيوانات الثديية تعد من الحيوانات لكلة الأعشاب Herbivores وأغلب هذه الحيوانات يتناول علائق بها نسبة سيلولوز عالية ولذلك فضرورى لهذه الحيوانات أن تحتوى على معدة قادرة على هضم السيلولوز. ولذلك فالمجترات والتي تشمل الجاموس والأبقار والأغنام والماعز والجمال وهى حيوانات مستأنسة ذات أهمية خاصة من حيث إنتاج اللحم واللبين والصوف. هذه الحيوانات لها معدة مجتررة خاصة قادرة ومتكيفة بدرجة كبيرة على هضم السيلولوز Cellulose. كما أن هذه المعدة متكيفة أيضا وبدرجة كبيرة مع هضم السيلولوز.

المجترات Ruminants : فى المجترات تتكون المعدة من عدة أجزاء (شكل ٩-١٢) أو بمعنى آخر لكى تكون المعدة ذو فعالية وملائمة لغذاء المجترات فهى تحتوى بجانب المعدة الحقيقية على ثلاثة أجزاء أخرى يمر بهم الغذاء قبل الأنفحة (المعدة الحقيقية أو الخنية) لتسهيل عمل هذه المعدة. وأول جزء من هذه الأجزاء وأكبرها حجما هو الكرش Rumen (شكل ٩-١٣). والكرش عبارة عن وعاء حجمه كبير به أعداد كبيرة من البكتريا والبروتوزوا ويدخل فيه الغذاء مختلطا بالعاب حيث

يحدث بداخل الكرش عملية تخمر Fermentation شديدة للغذاء. ودخل الكرش تكون الكائنات الدقيقة لازمه لتحلل الغذاء. وجملة في صورة قابلة للاستفادة في مرحلة تالية.



شكل (٩-١٢) : الشكل العلوي يوضح نموذج للمعدة المجترية ويتضح أنها تتكون من أربع أجزاء هي الكرش والشبكية والورقية والأفحة - المعدة الحقيقية أو البسيطة - واسفل الشكل موقع المعدة المجترية داخل الثوريف البطنى للمجترات.

ولذلك ففي الكرش يحدث عليه هدم الغذاء عن طريق هذه الكائنات الدقيقة. ونتيجة لعملية التخمر Fermentation في الكرش ينتج أحماض غالباً ما تكون حمض البروبيونيك Propionic acid وحمض الأسيتك Acetic acid وحمض البيوتريك Butyric acid وهذه الأحماض تمتص وتستخدم كما ينتج من عملية التخمر أيضاً غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 وغاز الميثان CH_4 . هذا وتمتص أغلب الأحماض الدهنية الطيارة Volatile fatty acids من جدار الكرش (لاحظ أن الكرش

والشبكة لهما كثافة عالية جداً في إمتصاص لواتج الهضم الميكروبي، وتساعد الحلمات والبروزات الموجودة على الجدار الداخلي من زيادة كثافة الإمتصاص عن طريق زيادة مسطح الإمتصاص) حيث تذهب من جدار الكرش عن طريق الشعيرات الدموية إلى الوريد البابي وبمجرد وصولها للكبد تستخدم في التمثيل الغذائي Metabolism حيث تعتبر هي المصدر الأساسي للطاقة في المجترات بعكس الحيوانات غير المجتررة التي يكون الجلوكوز هو المصدر الأساسي للطاقة فيها لكن في المجترات لا يستخدم الجلوكوز كمصدر للطاقة إلا بالنسبة للجهاز العصبي فقط ولذا فجد أن نسبة سكر الدم في الحيوان المجتر التام النمو حوالي نصف تركيزه في الحيوان المماثل له وحيد المعدة.

عملية الإجتار Rumination Or Chewing The Cud : الحيوان المجتر يتناول غذائه بعملية مضغ سريعة ثم بعد تناول غذائه يحوالى نصف ساعة يعاد الغذاء للخرش (المحتوى على ألياف) من الكرش والشبكة مرة أخرى إلى الفم حيث يعاد مضغه جيداً وتفقيته لأجزاء دقيقة وخلطه أيضاً بالعاب مرة أخرى حيث يؤدي ذلك إلى زيادة كثافة عملية التخمر الميكروبي Fermentation وأيضاً فإن الغذاء تزداد ليونته وسيولته وبالتالي يسهل مروره من الكرش والشبكة إلى الوريقة ثم الألفحة ثم إلى الإثني عشر والأمعاء. هذه العملية السابقة هي التي أصطلت هذه الحيوانات التسمية بالحيوانات المجتررة Ruminant animals. وعند وصول الغذاء إلى المعدة الرابعة (الألفحة) وهي تماثل المعدة الحقيقية في الحيوانات غير المجتررة، تبدأ في هذه المعدة عملية هضم عادية للغذاء. ولذلك فوجود الثلاثة أجزاء الأولى (وهم الكرش والشبكة والوريقة) له فائدة ضمن السيلولوز والألياف الخام التي لا تستطيع المعدة الحقيقية (الألفحة) هضمهم. ولذا يجب أن نلقى نظره سريعة على مكونات المعدة المجتررة، والتي تتكون من أربعة أجزاء هي ١- للكرش ٢- القلنسوة أو الشبكة ٣- الوريقة ٤- الألفحة (المعدة الحقيقية أو الغدية).

١- الكرش Rumen : هو أكبر أجزاء المعدة المجتررة ويبلغ حجمه حوالي ٨٠% من حجم المعدة المجتررة. وينقسم إلى جزئين جزء بطني والآخر ظهري Ventral and dorsal parts ويوجد بين الجزئين فتحة واسعة محاطة بطبقة من العضلات تجعل الإتصال بين جزئى الكرش ميسوراً. وعند إتصال الكرش بالمرئ توجد شفتين تسمى بالمزلياب، أما عند إتصال الكرش بالقلنسوة (الشبكة) فيوجد حلز غير كامل يسهل إتصالهما ببعض.

وكما سبق ذكره فيحدث في الكرش عملية التخمر Fermentation بواسطة الكائنات الدقيقة وأغلب نواتج هذه العملية هي الأحماض العضوية قصيرة السلسلة Short chain organic acids. أما الكمية الغزيرة من العباب والتي تفرزها المجترات فتعمل Buffer لمنتجات عمليات التخمر هذه. والعباب في المجترات يعتبر أكبر كلاً من محلول مخفف من بكتريونات الصوديوم لذلك فيجانب

صله كـ Buffer فهو يعتبر أيضاً وسط ملائم لعمل الكائنات الدقيقة فى الكرش. وكمية للعاب المفروزة فى الكرش تكثر فى الأغنام والماعز بحوالى ٦-١٦ لتر يومياً وفى الأبقار بحوالى ١٠٠-١٩٠ لتر يومياً. ولو افترضنا أن وزن حيوان الغنم حوالى ٤٠ كيلو جرام وأن وزن البقرة حوالى ٥٠٠ كجم فيكون للعاب المفروز يومياً يعادل ثلث وزن الحيوان. ومن معلومة أن ثلثي وزن الحيوان تقريباً عبارة عن ماء لذلك فحوالى نصف كمية الماء الكلى فى الحيوان تمر من خلال الندد المعيشية يومياً لتفرز فى صورة لعاب يصل للكرش.

ويجدر الإشارة هنا إلى حقيقة هامة وهى أن الكائنات الدقيقة فى الكرش تستطيع تخليق بروتين من مركبات إيتروجينية غير عضوية مثل أملاح الأمونيوم Amonium salts مثلاً والتطبيق العملى فى هذا المضمار هو استخدام اليوريا (نواتج هدم البروتين والتي تفرز فى البول) فى تغذية الحيوانات المجترة بغرض زيادة تخليق البروتين. حيث تضاف اليوريا إلى علائق حيوانات اللبن (هذه الطريقة غير مكلفة حيث سهولة وقلة تكاليف إنتاج اليوريا فى مقابل التكلفة الباهظة لتغذية حيوانات اللبن علائق ذات مستوى بروتين عالى).

ومحتويات الكرش فى الأبقار تقدر بحوالى ١٠٠ كجم وكمية البروتوزوا الموجودة بهذا المحتوى تقدر بحوالى ٢ كجم وكمية البروتين الموجودة بهذه البروتوزوا تقدر بحوالى ١٥٠ كجم. ولـو علمنا أن حوالى ٧٠% من هذه البروتوزوا تمر يومياً من الكرش Rumen إلى الورثية Omasum. فنجد أنه يومياً يدخل الأنفحة أكثر من مائة جرام بروتين مخلقة عن طريق البروتوزوا.

وبالنسبة لتخليق البروتين عن طريق الكائنات الدقيقة فى الكرش فهو له أهمية كبيرة خاصة عند تغذية الحيوانات على علائق فقيرة. فقد وجد أنه عند تغذية الجمال على علائق فقيرة لى للبروتين (حشائش فقيرة من الناحية الغذائية Inferior hay) فهى لا تخرج يوريا فى البول. والمعروف أن إنتاج اليوريا يستمر فى عمليات الميتابولزم فى الجسم وعدم خروج اليوريا فى البول يدلنا على أن اليوريا للمفروزة أعيد استخدامها عن طريقين جزء ذهب للكرش وجزء ذهب للعاب. والجزء الذى يذهب للكرش يهدم إلى ثلثي أكسيد كربون وأمونيا NH₃. وتستخدم الأمونيا بواسطة الكائنات الدقيقة فى الكرش لتخليق البروتين. وبالتالي فالجمال (مثال لحيوان مجتر) فى حالة تغذيته على علائق فقيرة فى البروتين فهو بعيد استخدام اليوريا عن طريق الكرش لتخليق بروتين.

وهناك نتائج مشابهة لإعادة استخدام نيتروجين اليوريا Re-utilization of urea nitrogen فى حيوانات مجترة تغذى على علائق فقيرة فى البروتين مثل الأغنام. وأيضاً وجد بعض الحيوانات الغير مجترة Non-ruminant مثل الأرانب Rabbit والتي تستطيع استخدام اليوريا بدرجة معنوية فى عمليات البناء والهدم النيتروجينية Nitrogen metabolism.

و قد وجد أيضا أن إضافة الكبريت للغير عضوى In organic sulfate لملاتق المجترات يحسن من كفاءته للكائنات الدقيقة على تخليق البروتين. كما أنه يسبب تخليق أحماض أمينية محتوية على الكبريت وهي للمستئين والميثيونين Cysteine and methionine وهي أحماض أمينية هامة حيث تقع ضمن مجموعة الأحماض الأمينية الضرورية Essential amino acids. وبالتالي ومما تقدم نجد أن للكائنات الدقيقة في الكرش يمكنها تخليق كل الأحماض الأمينية للضرورية وذلك بصرف النظر عن نوعية البروتين الذي تتناوله الحيوانات المجترة في علاقتها. أو بمعنى آخر أن وظيفة الكائنات الدقيقة في الكرش تشمل في إنتاج البروتين وإنتاج نوعية معينة من هذا البروتين. وهناك أيضا فائدة غذائية أخرى هامة في هضم المجترات وهي أن الكائنات الدقيقة بالكرش تقوم بتخليق بعض الفيتامينات الهامة حيث تقوم بتخليق العديد من مجموعة فيتامين B خصوصا فيتامين B-12.

٢- الشبكة أو القلنسوة Reticulum : (شكل ٩-١٢) تقع الشبكة بجانب الحجاب الحاجز والكبد وتوجد بها ثايلت عديدة على شكل خلايا سداسية تعطوها مظهر ض الحبل أو الشبكة ومن هنا جاءت التسمية (شبكة) وهي عبارة عن تجويف على شكل تورق يفتح من أحد جانبيه إتصالا حرا بالكرش حيث تتلقى الغذاء بعد الهضم الميكروبي من الكرش ومن الجانب الآخر تتصل بواسطة فتحة ضيقة بالورقية Omasum.

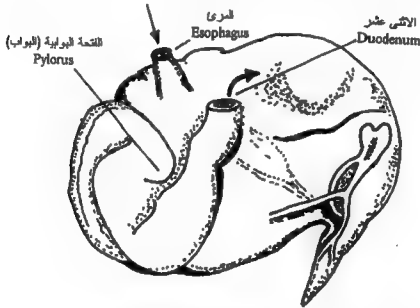
٣- الورقية Omasum : (شكل ٩-١٢) وتتلقى الغذاء المهضوم ميكروبيا من القلنسوة عن طريق الفتحة الضيقة السابق ذكرها. لكنها تتصل بالأنفحة بفتحة أوسع من تلك التي تصلها بالقلنسوة. والورقية شكلها كروى وجدارها من الداخل ذات ثايل عديدة مختلفة الحجم ومدمجة بالعضلات ويوجد عليها أيضا حلقات. وهي تشبه في شكلها شكل أوراق الكشكول أو الكتاب ومن هنا جاءت التسمية (ورقية).

٤- الأنفحة Abomasum : (شكل ٩-١٢) وهي المعدة الحقيقية أو الغدية أو هو الجزء المماثل للمعدة في الحيوانات غير المجترة. والأنفحة تفتح في الورقية وتتصل بالإثنى عشر بفتحة البواب وهي تنقسم إلى ثلاثة أقسام قسم فؤادى وقسم قاعى وقسم بوابى ويتم فيها جزئيا الهضم الإنزيمى كما في المعدة البسيطة السالف ذكرها في هذا الباب وحيث أيضا مرور هضم وإمتصاص الغذاء عن طريق الأمعاء البسيطة ثم مروره في الأمعاء الغليظة لإمتصاص الماء وبعض الفيتامينات ثم خروجه من فتحة الشرج.

هضم السليولوز في بعض الثدييات غير المجترة Non-ruminant Mammals : هضم السليولوز في الحيوانات غير المجترة كلكه الأشباب Herbivorous mammals يتم أيضا بواسطة

الكائنات الدقيقة. فالأغذية المحتوية على سليولوز تكون عادة في مكعبات كبيرة نسبياً وبالتالي فعملية التخمر Fermentation تكون بطيئة وتأخذ وقتاً أطول بالمقارنة بالمعدة المجتررة. فالمعروف أن عملية التخمر Fermentation تحتاج إلى مساحة كبيرة. (أي أن الجزء من القناة الهضمية والذي سوف يحدث فيه عملية التخمر يجب أن يكون حجمه كبير). ففي بعض الحيوانات تكون المعدة كبيرة ومكونة من عدة أجزاء ويكون للهضم مشابه تقريباً لما يحدث في الحيوانات المجتررة، وفي بعض الحيوانات الأخرى يحدث هضم السليولوز في انبوية كبيرة مسدود أحد طرفيها Large diverticulum. تخرج من الأمعاء وهي الزائدة الدودية Caecum.

هذا ويوجد أنواع عديدة من المعدة المركبة لهضم السليولوز ليس فقط في الحيوانات الغير مجتررة ذوات الحافز. ولكن أيضاً في للحيوانات لفائقة البعيدة جداً Very far removed animals ومن أمثلتها حيوان الكسلان Sloth (وهو حيوان من رتبة الأورد يقيم في أشجار الغابات) وحيوان اللنغور Langur monkey وهو قرد أسوي طول الزيل. ويوضح شكل ٩-١٣ رسم تخطيطي للمعدة في حيوان الكسلان كنموذج لمعدة غير مجتررة هاضمة للسليولوز.



شكل (٩-١٣) : ديجرام يوضح تركيب المعدة الهاضمة للسليولوز في حيوان الكسلان Sloth وهو حيوان من رتبة الأورد ويقيم في أشجار الغابات.

وهناك أيضاً فصيلة من الحيوانات تسمى الجرابيات Marsupials وبداخل هذه الفصيلة حيوانات لها معدة تشبه المعدة المجتررة ومن أمثلتها حيوان يسمى Rabbit-sized quokka وهذا الحيوان يزن من ٢-٥ كجم. وهذا الحيوان له معدة كبيرة مليئة بالكائنات الدقيقة والتي تقوم بعملية

هضم السليولوز. ومعذته هذه تحتوي على حوالى نصف كيلو جرام مواد سائلة فى الحيوان الذى يسزن ٣٢كجم وهذه تعادل ١٥% من وزن الجسم وهى نسبة مماثلة لما هو موجود فى الحيوانات المجترة.

أما التخمر الميكروبي فى الأعور Caecum فهو يماثل تقريباً ما يحدث من تخمر فى الكرش. لكن الكرش له ميزتين أفضل من الأعور، الميزة الأولى أن عملية التخمر فى الكرش تحدث فى الجزء الأول من للقناة الهضمية وبالتالي فنواتج التخمر جميعها تمر فى الأمعاء الدقيقة حيث تتمرض لعمليتى هضم وإمتصاص أخرى. أما الميزة الثانية فالحيوانات المجترة تعيد مضغ وطحن الغذاء وخلطه باللعاب مرة أخرى أثناء عملية الإجتراء مما يسهل عملية التخمر. ويمكن ملاحظة ذلك عند مقارنة براز حيوانين أحدهما ذات معدة مجترة كالبقرة مثلاً والأخر ذات معدة غير مجترة هاضمة للسليولوز كالحصان مثلاً. فنجد أن براز الحصان يحتوى على ألياف التبن مثلاً كبيرة لم تهضم بعد ولكنها واضحة فى برازه بينما نجد أن روث البقرة عبارة عن كتلة ناعمة مطحونة جيداً لا يوجد بها إلا قليل جداً من الألياف الخام المرئية.

هذا وكما ذكرنا بخصوص الجهاز الهضمى فى الطيور. فإن بعض الطيور الداجنة Gallinaceous birds لها أعورين كبيرين تستطيع بهم هضم السليولوز. فمثلاً هناك طائر من رتبة الدجاج فى الأصقاع الشمالية يسمى تارميجان Ptarmigan وجدت فيه نواتج عملية التخمر عبارة عن إيثانول Ethanol وحمض الأسيتيك Acetic acid وحمض البروبيونيك Propionic acid وحمض البيوتريك Butyric acid وحمض اللاكتيك Lactic acid بتركيزات مختلفة لكل ناتج من نواتج عملية التخمر Fermentation السابقة.

الباب العاشر

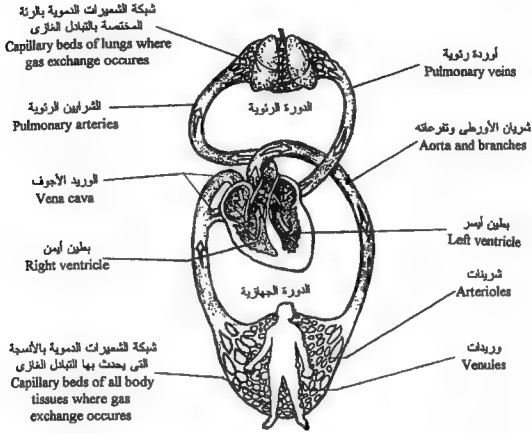
الجهاز الدورى

The Circulatory System

مقدمة Introduction : الجهاز الدورى Circulatory System يتكون من الجهاز القلبي الوعائى Cardiovascular system (وهو يشمل القلب Heart والأوعية الدموية Blood vessels) والدم Blood ويمكن أن يقال أيضا أن الجهاز الدورى يتكون من مضخة عضلية (وهى القلب) ودائرتين دمويتين Two Circulatory Loops إحداها تورّد الدم إلى الرئتين والأخرى تورّد الدم إلى أنسجة الجسم المختلفة (شكل ١٠-١). والجهاز الدورى يعمل طول فترة حياة الإنسان أو الحيوان دون أى تعب أو كلال. ويعتبر الجهاز الدورى أحد أجهزة الإكزان الداخلى Homeostatic systems حيث يقوم بعدة وظائف هامة منها : ١- يقوم بعملية التبادل الغازى فهو يحمل ثلثى أكسيد الكربون من أنسجة الجسم المختلفة ويوصله إلى الرئتين حيث يحدث التبادل الغازى ليعود الدم المحمل بالأكسجين لخلايا الجسم المختلفة حيث يستخدم هذا الأكسجين لإنتاج الطاقة بواسطة الخلية ٢- كما يقوم أيضا الجهاز الدورى بتوزيع العناصر الغذائية الممتصة من القناة الهضمية والهرمونات التى أفرزتها الغدد الصماء إلى أنسجة جلايا لجسم المختلفة. ٣- الدورة الدموية تساعد على تنظيم وتوزيع الحرارة بالجسم. ٤- الدم يقوم بنقل نواتج الهدم (فضلات الخلايا) الناتجة من عمليات البناء والهدم بالخلافة Cellular metabolism إلى أعضاء مختصة بالإخراج مثل الكلية. ٥- الدورة الدموية تساعد على ثبات pH سوائل الأنسجة كما تحافظ على مستويات منخفضة من ثلثى أكسيد الكربون وبعض المخلفات الأخرى فى الجسم. ٦- كرات الدم البيضاء بالجهاز الدورى تعمل على حماية الجسم ضد البكتيريا والفيروسات - كما تعمل الصفائح الدموية وبعض بروتينات الدم على حماية الجسم ضد الأنيميا (فقر الدم) عن طريق عملية تجلط الدم Blood clotting.

هذا وقد تحدث الجلطات الدموية داخل الشرايين. فمثلا قد تحدث جلطة دموية تسد الشريان التاجى Coronary artery وهذا الشريان يمد معظم أجزاء القلب بالدم والأكسجين وبالتالي فهذا الانسداد يسبب نوبة قلبية Heart attack. ويمكن علاج هذه الحالة بإدخال قسطره Catheter (البوبية بلاستيك صغيرة) من خلال الشريان الفخذى Femoral artery حتى تصل إلى مكان الجلطة بالقرب من القلب ويتم حينئذ حقن إنزيم يسمى إستربتوكينيز Streptokinase (أحد نواتج البكتيريا المسببة للحصى الروماتزمية) من خلال القسطرة. وهذا الإنزيم يذيب الجلطة الدموية ويعود ورود الدم إلى عضلة

القلب مرة أخرى ولا يعرف حتى الآن سبب رئيسي مباشر لنوبات القلب هذه إلا أن معظم البحوث يعتقدون أنها لأحد نواتج ضغوط المجتمع الحديث.



غير في الأكسجين وعلى في
ثاني أكسيد الكربون

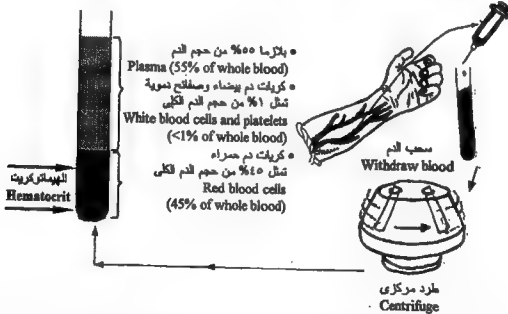
على في الأكسجين ولتغير في
ثاني أكسيد الكربون

شكل (١٠-١) : ديجرام يوضح أن الجهاز الدوري يتكون من دقتين دميتين إحداهما تورّد الدم إلى الرئتين والأخرى تورّد الدم إلى باقي أنسجة الجسم.

مكونات الجهاز الدوري : ١- الدم ٢- القلب ٣- الأوعية الدموية.

أولاً : الدم **The Blood** : يمثل الدم حوالي ٨% من وزن الجسم الكلي فالإنسان الذكر البالغ الذي يزن ٧٠ كجم يحتوي جهازه الدوري على ٦-٥ لتر دم ويقل ذلك حوالي ١ لتر في الأنثى البالغة. والدم عبارة عن محلول مائي يتكون من شقين : الجزء الأول وهو البلازما **Blood plasma** وهي الجزء السائل من الدم وتتكون من ٩٠% ماء ومواد متعددة ذائبة في هذا الماء. أما الجزء الثاني فهو العوامل المتشكلة **Formed elements** وهي خلايا أو أجزاء من الخلايا وتوجد في ثلاث صور

هي : ١- خلايا (أو كريات) الدم الحمراء (RBCs) Erythrocytes or Red blood cell - ٢- خلايا الدم البيضاء (WBCs) Leukocytes or White blood cells - ٣- الصفائح الدموية Thrombocytes or Platelets وخلايا كريات الدم الحمراء تشكل حوالي ٩٩% من حجم الخلايا الكلي في الدم وهي الخلايا التي تحمل الأكسجين في الدم، أما خلايا الدم البيضاء فهي تشكل حماية (مناعة ضد العدوى) وضد الأمراض، أما بالنسبة للصفائح الدموية فهي أساسية في عملية التجلط. والبلازما تمثل حوالي ٥٥% من الحجم الكلي للدم (شكل ١٠-٢) ولجزء الباقي وهو ٤٥% فهو يمثل خلايا الدم وهو أيضا قيمة الهيماتوكريت (Ht) Hematocrit value وهي عبارة عن نسبة حجم كريات الدم الحمراء إلى الحجم الكلي للدم (لاحظ أن باقي الخلايا يمثل فقط ١% لذا يمكن إهماله). وتقدير الهيماتوكريت بوضع الدم للكامل في أنبوبة اختبار (شكل ١٠-٢) وطردا في جهاز الطرد المركزي (٥٠٠ دورة/دقيقة لمدة ربع ساعة). ولأن خلايا الدم أثقل من البلازما لذلك تستقر خلايا الدم الحمراء في قاع الأنبوبة، أما خلايا الدم البيضاء والصفائح الدموية فتستقر أعلا خلايا كريات الدم الحمراء. ولأن خلايا كريات الدم البيضاء والصفائح الدموية تمثل ١% من حجم الدم الكلي لذا فحجم خلايا الدم يحدد أساسا بتركيز خلايا الدم الحمراء. وقيمة الهيماتوكريت Hematocrit value تكون عالية في الأفراد الذين يعيشون في أماكن مرتفعة حيث في هذه الأماكن تقل نسبة الأكسجين الجوي لذا يزداد حجم خلايا الدم الحمراء لتعويض النقص في الأكسجين.



شكل (١٠-٢) : الشكل يوضح طريقة تقدير الهيماتوكريت. تسحب كمية من الدم وتوضع في أنبوبة مدرجة ثم توضع هذه الأنبوبة المدرجة في جهاز طرد مركزي لمدة ربع ساعة (١٥٠٠ دورة/دقيقة) ثم تسحب ويحسب نسبة حجم خلايا الدم إلى الحجم الكلي للدم وهي قيمة الهيماتوكريت.

أولاً : البلازما Plasma : بلازما الدم سائل لونه أصفر فاتح وسبب وجود هذا اللون هو وجود ناتج هدم الهيموجلوبين Hemoglobin بها والمسمى Bilirubin ويشكل الماء حوالي ٩٠% من حجم البلازما. ويوجد ذاتياً في البلازما غازات مثل النيتروجين وثنائي أكسيد الكربون والأكسجين وأيونات مثل أيونات الصوديوم والكلوريد والكالسيوم وعناصر غذائية مثل سكر الجلوكوز والأحماض الأمينية ورمال كيميائية Chemical messengers مثل الهرمونات والهرمونات العصبية والذلات العصبية... الخ كما يوجد أيضاً ذاتياً في البلازما بعض البروتينات والفضلات المختلفة. وكذلك توجد الليبيدات محلة في البلازما في صورة كرات صغيرة وقد ترتبط هذه الكرات مع بروتينات حاملة وتقوم بنقلها في الدم.

وأكثر المواد الذائبة تركيزاً في البلازما هي البروتينات حيث تمثل حوالي ٦-٨% وهناك ثلاث صور للبروتينات في بلازما الدم هي ١- الألبومين albumins وهي أعلاهم نسبة وتصنع في الكبد. ٢- الجلوبولينات Globulins ٣- الفبرينوجين Fibrinogen وهو بروتين هام بالنسبة لعملية تجلط الدم.

وجميع بروتينات البلازما تؤدي وظائفها إما في البلازما نفسها أو في السوائل بين الخلايا. فمثلاً الألبومينات وبعض الجلوبولينات تعمل كبروتينات ناقلة حيث ترتبط مع الهرمونات والأيونات والأحماض الدهنية وتساعد على نقل هذه الجزيئات في الدم. (البروتينات الناقلة أو الحاملة Carrier proteins هي جزيئات كبيرة قابلة للذوبان في الدم وتقوم بحمل الليبيدات وجزيئات أخرى لتصل بهم في مجرى الدم كما تقوم بحماية هذه الجزيئات من الهدم في الكبد). والجلوبولينات بعضها يعمل كجسام مضادة Antibodies. والأجسام المضادة هذه عبارة عن بروتينات تبتطل أثر الفيروسات والبكتريا وتعمل كمعادل مهاد على تكثيرهم بواسطة الخلايا الملتزمة الكبيرة Macrophages. أما الفبرينوجين فهو لازم للمساعدة على تجلط الدم. وعند تركه الدم يتجلط بفعل سائل شفاف أصفر اللون يسمى المصل Serum وهذا السائل هو عبارة عن البلازما بعد إزالة الفبرينوجين والبروتينات الأخرى التي دخلت عملية التجلط.

هذا ويحتفظ الدم بمستوى ثابت تقريباً من تركيز أيون الهيدروجين (pH الدم) نتيجة لفعل المواد التي تعمل كمُنظّمات Buffering acting agents وهي أيونات البيكربونات التي تتكون عند ذوبان ثنائي أكسيد الكربون في البلازما. كما تساعد بروتينات البلازما كذلك في المحافظة على pH ثابت عن طريق الارتباط مع أو تحرير أيونات الهيدروجين.

والضغط الأسموزي للدم Blood osmotic pressure تسهم فيه كل بروتينات البلازما وهذا الضغط الأسموزي Osmotic pressure هام ويساهم في تنظيم الإتران الكيميائي بين بلازما الدم والسوائل بين الخلوية. وأيضا في اختلاف الضغط الأسموزي بين الدم والأنسجة هو السبب قسئ للتبادل بين الشعيرات الدموية والأنسجة (لاحظ أن الضغط الأسموزي الناتج عن إذابة البروتينات في البلازما يسمى الضغط الأسموزي للغروى Colloid osmotic pressure).

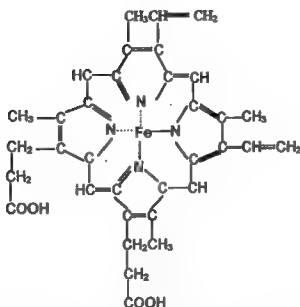
ثانيا : خلايا الدم Blood Cells : ١- خلايا الدم الحمراء Erythrocytes Or Red Blood Cells (RBCs) : خلايا الدم الحمراء ينتجها نخاع العظام الأحمر وهى تلتد أتوبكها وبقبة صفياتها الداخلية أثناء تشكل الخلايا حيث تصبح خلايا عالية التخصص بخلاف خلايا الجسم الأخرى وبالتالي فهى لا تنقسم. ولذلك يقوم نخاع العظام بإنتاج خلايا جديدة لتحل محل بلايين خلايا كريات الدم الحمراء الشائخة التى يتم هدمها يوميا فى الطحال. وخلايا الدم الحمراء مقعرة Biconcave disc ويبلغ قطرها 7 um وهذان العاملان يسببان زيادة نسبة المسطح إلى الحجم وبذلك فهى تسمح بالإنتشار السريع للأكسجين وبدرجة أقل ثلثى لكسبد الكربون. ولذا يسهل سرعة وكفاءة تبادل الغازات بين الخلية والبلازما.

وخلايا كريات الدم الحمراء شديدة المرونة وقطرها أكبر قليلا من قطر الشعيرات الدموية لذا فهى تستطيع أن تتحدى وتلتوى وتنتنى لتمر خلال الشعيرات الدموية. هذا وتحتوى خلية الدم الحمراء على الهيموجلوبين وهو الذى يقوم بربط الأكسجين. ويوجد حوالى ٢٠٠-٣٠٠ مليون جزئ هيموجلوبين فى كل خلية وهو يمثل حوالى ثلث وزن الخلية الحمراء والهيموجلوبين (Hb) عبارة عن جزئ بروتينى كبير يتكون من أربع وحدات بروتينية مرتبطة ببعضها. كل وحدة منها تتكون من مجموعة Heme متصلة بسلسلة عديد الببتيدات Polypeptide حيث تكون حلقة كبيرة تسمى Porphyrin ring (شكل ١٠-٧) التى يقع فى وسطها أيون الحديد (Fe^{2+}) وهو الذى يقوم بربط الأكسجين.

والأربع جزيئات الببتيدية المتشابة بجزئ الهيموجلوبين تكون مرتبطة ببعضها لتكوين جزئ يسمى Globin.

وعندما يمر الدم فى الشعيرات الدموية الموجودة بالرتتين ينتشر الأكسجين إلى الدم ومنه إلى خلايا الدم الحمراء حيث يرتبط الأكسجين مع أيون الحديد الموجود بجزئ الهيموجلوبين لينقله إلى أجزاء الجسم المختلفة عن طريق الجهاز الدورى. ويتم نقل حوالى ٩٨% من الأكسجين مرتبطا بهيموجلوبين كريات الدم الحمراء أما الـ ٢% الباقية فتنتقل كأكسجين ذائب فى البلازما.

كذلك فإن ثاني أكسيد الكربون يرتبط مع الهيموجلوبين لكن بدرجة أقل من الأكسجين. لكن معظم ثاني أكسيد الكربون ينتقل في البلازما في صورة أيونات البيكربونات (HCO_3^-) الذائبة في بلازما الدم.



شكل (١٠-٣) : الشكل يوضح مجرعة الهيم Heme والتي تتكون من حلقة كبيرة تسمى Porphyrin ring التي تقع في وسطها أيون الحديد الذي يرتبط بالأكسجين وأول أكسيد الكربون.

ويتم تخليق كريات الدم الحمراء في النسيج الطري بدخل العظام ويسمى نخاع العظام الأحمر Red bone marrow وفي بداية تخليق هذه الخلايا تبدأ في تخليق الهيموجلوبين بعد تميزها حيث تقلد بعد ذلك ويسرعة نواة الخلية وعضياتها الميتوكوندريا Organelles. أما بالنسبة لخلايا الدم الحمراء التي لم يكتمل نضجها فهي تحتوي على عدد قليل من الريبوسومات وعند صبغها بأصبغ خاصة تظهر بشكل شبكي تحت الميكروسكوب وتسمى هذه الخلايا بخلايا كريات الدم الحمراء الغير ناضجة Reticulocytes ويلاحظ أن خلايا الدم الحمراء الناضجة فقط هي التي تدخل الدورة

الدموية، لكن في بعض حالات التفتيق السريع والغير عادى يدخل بعض خلايا الـ Reticulocytes إلى الدورة الدموية.

وتخليق خلايا لدم الحمراء في نخاع العظام الأحمر لابد من توافر كلا من الحديد وحمض الفوليك وفيتامين ب₁₂ والأحماض الأمينية والبيدات والكربوهيدرات. فـالحديد Iron هو العنصر الذى يربط الأكسجين بجزئ الهيموجلوبين. والحديد يقدر من الجسم يوميا بكميات قليلة عن طريق البول والبراز والعرق وفى طبقة الخلايا للحرشفة المتجددة من الجلد. كما تتفقد الإثاث فى سوائل الدورة الشهرية Menstrual cycle ولذلك فلابد من تعريض الحديد المقود عن طريق الأغذية الغنية بالحديد مثل الكبد واللحوم وصفار البيض والأسماك والسبانخ والبقوليات (لاحظ أن نقص الحديد فى الجسم يؤدى إلى منع تكوين الهيموجلوبين وقد تحدث أنيميا). كما أن هناك مصدر آخر للحديد فى الجسم وهو خلايا الدم الحمراء التى شاخت وتم هدمها فى الطحال حيث يزال منها الحديد وينقل إلى البلازما حيث يرتبط بحامل بروتينى يسمى Transferrin وينقله هذا الحامل إلى نخاع العظام الأحمر ليعدا استخدامه فى إنتاج كريات الدم الحمراء الجديدة.

أما بالنسبة لحمض الفوليك Folic Acid فهو يوجد فى أوراق النباتات والكبد والخميرة. وهو لازم وضرورى لتكوين DNA الخلايا (لأنه لازم لتكوين قواعد البيريميدين والثيامين Pyrimidine and Thymine). ولذلك فهو ضرورى لعملية إنقسام الخلايا. والمعروف أن الخلايا المولدة لكريات الدم الحمراء Erythrocyte precursors هى خلايا نشطة حيث معدلات إنقسامها سريعة، لذا فنقص حمض الفوليك Folic acid يسبب عجز كبير فى إنقسام هذه الخلايا.

ولكى يؤدى حمض الفوليك Folic acid صله لابد من وجود كميات قليلة جداً من فيتامين B-12 هذا الفيتامين لا يستطيع جسم الإنسان تخليقه ولابد من الحصول عليه من المنتجات الحيوانية. وتقوم الأمعاء بامتصاص فيتامين B-12 لكن تحتاج فى ذلك إلى عامل داخلى Intrinsic factor والذى تقوم المعدة بإفرازه. لذا فإن نقص هذا العامل يسبب نقص فيتامين B-12. وأيضاً فيتامين B-12 لتكوين الغلاف الميلىنى المحيط بمحاور الأعصاب لذا فنقص إنتاج كريات الدم الحمراء يسبب نقص فيتامين B₁₂ يصاحبها أعراض عصبية مختلفة. وهذه الأعراض العصبية لا تحدث عند نقص كريات الدم الحمراء بسبب نقص حمض الفوليك.

ومدة حياة كريات الدم الحمراء فى الدورة الدموية تقدر بحوالى ١٢٠ يوم بعدها تتشيخ هذه الكريات وتزال من الدم حيث تتمر بواسطة الكبد Liver والطحال Spleen وكما سبق ذكره فـالحديد المزال من هذه الخلايا عن طريق الطحال يعاد استخدامه لتكوين خلايا دم حمراء جديدة لكن لا

يستخدم ١٠٠% من الحديد المزال لذا يجب تناول كميات قليلة من الحديد يوميا في الغذاء. وتزداد حاجة الجسم من الحديد في الغذاء عند حدوث نزيف أو في فترة الحيض في الإناث ولذا فعند وجود كميات كافية منه في هذه الحالات تسبب حدوث فقر الدم *Animia*.

وفي الأطفال الموليد يشترك كل نخاع العظام تقريبا في إنتاج كريات الدم الحمراء. لكن عند البلوغ تبة نخاع العظام فقط مثل عظام أصلا الفخذ والضلوع وعظمة القص في الصدر وأجسام القفصية قادرة على إنتاج كريات الدم الحمراء. ويمتلئ الفراغ ببقايا العظام تدريجيا بالدهن ويسمى في هذه الحالة بنخاع العظام الأصفر *Yellow marrow* ويعتبر مكان لتخزين الدهون. لكن في حالة الإصابة بالأكيميا لفرات شديدة يعاد تحويل النخاع الأصفر إلى نخاع أحمر *Red marrow* حيث ينشط لإنتاج كريات الدم الحمراء مرة أخرى.

تنظيم إنتاج كريات الدم الحمراء Regulation Of Erythrocyte Production : تنظيم إنتاج RBCs يتم عن طريق آليات التنظيم الرجعي السالبة Negative feedback mechanisms المساعدة في كل آليات الإتران الداخلي Homeostatic mechanisms. ولذلك فيعمل هذا التنظيم بآلية حجم كريات الدم الحمراء ثابت في الشخص الواحد تحت الظروف الطبيعية. والمنظم الأساسي لعدد كريات الدم الحمراء هرمون إفراز من الكلى ودرجة أكسج من الكبد ويسمى الهرمون المكون للخلايا الحمراء *Erythropoietin*. وإفراز هذا الهرمون من الخلايا المبطنة للشعيرات الدموية بالكلى *Capillary endothelial cells in the kidney*.

ويعتبر هرمون *Erythropoietin* هو المنظم المباشر لإنتاج خلايا كريات الدم الحمراء. ونقص الأكسجين في الدم الداخل إلى الكلى يسبب إفراز هذا الهرمون كما أن زيادة الأكسجين في الدم الداخل للكلى يسبب نقص إفراز هذا الهرمون. ويعمل هذا الهرمون على خلايا نخاع العظام الأحمر حيث ينشط تكاثر خلايا المنشأ *Stem cells* (الخلايا المولدة للـ RBCs) كما يسبب نضج خلايا الـ RBCs نفسها. وفي حالة زيادة عدد خلايا RBCs يزداد الأكسجين الوارد للكلى مع الدم وبالتالي يقل إفراز هذا الهرمون.

لوحظ أيضا زيادة معدلات إفراز هرمون *Erythropoietin* كاستجابة لهرمون التسترون مما يفسر جزئيا زيادة نسبة الهيموجلوبين في الذكور (١٦ جرام لكل ١٠٠ مل دم) عن الإناث (١٤ جرام لكل ١٠٠ مل دم). لاحظ أن هناك سبب آخر وهو فقد الحديد في سوائل الدورة الشهرية.

الأمراض الناتجة عن الخلل في خلايا الدم الحمراء : علما مما سبق أن خلايا RBCs لابد أن تكون شديدة المرونة حتى يمكنها الإتراء والإنتشاء لدخل الشعيرات الدموية الأصغر منها قطرا.

وهناك طفره وراثية توضح أهمية مرونة RBCs. هذه الطفرة تحدث في الجين الذي يعمل كمشفرة لبروتين الهيموجلوبين حيث ينتج جزئ هيموجلوبين يحتوى على حامض أميني مختلف (غير صحيح) مما يغير من تركيب الجزئ نفسه وبالتالي يتغير شكل كريات الدم الحمراء من الأكراس المقعرة الوجبين إلى الشكل المنجل (تكون كريات الدم الحمراء على شكل منجل) ويسمى هذا المرض بمرض قهيميا الخلايا المنجلية **Sickle-Cell Anemia**. وهذه الخلايا المنجلية أقل مرونة ولا تستطيع الإلتواء أو الإثناء عند إنتقالها خلال الشبكة المقعدة من الشعيرات الدموية ونتيجة لذلك تتجمع RBCs عند نقط التفرع في شبكة الشعيرات الدموية وتسبب نقص ورود الدم إلى الأنسجة. وبالتالي فنقص ورود الدم ينقص مستوى الأكسجين في أنسجة الجسم **Apoxia** وينتج عن ذلك آلام شديدة وعطب في الأنسجة. كما تسبب الكرات المنجلية أيضا إعاقة مرور الدم إلى الرئتين أو القلب أو المخ مما يسبب خطورة على الحياة وقد يؤدي إلى نوبات قلبية وتدمير في المخ ومعظم المصابين بهذا المرض يموتون عند عمر عشرون إلى ثلاثون عاما أو أقل. وهذا المرض يعتبر مرض وراثي ويلاحظ دائما في بعض السود الأمريكيين.

أما بالنسبة لأمراض فقر الدم **Anemia** فهي قد تنتج عن نقص عدد كريات الدم الحمراء في الدم أو نقص محتوى هذه الكريات من الهيموجلوبين أو الإثنين معا أو وجود هيموجلوبين غير طبيعي (لهيما كريات الدم للمنجلية السابق ذكرها).

ومن أسباب نقص عدد كريات الدم الحمراء النزيف الشديد أو أورام نخاع العظام أو بسبب حدوث من الأمراض المعدية مثل الملاريا. أو لنقص الحديد أو فيتامين B-12 أو حامض الفوليك **Folic acid**. ويمكن التعرف على الأنيميا مصليا بقياس تركيز الهيموجلوبين في عينة من الدم، لكن لابد من عد كرات الدم الحمراء وقياس حجم كريات الدم الحمراء لأنه مفيد لمعرفة سبب الأنيميا وأيضا من حيث علاقته ببعض أنواع الأنيميا الشائعة للحدوث وهي : ١- إذا كان حجم خلايا الدم الحمراء صغيرة **Microcytosis** فهذا يكون بسبب نقص الحديد ويمكن علاج الحالة بإضافة الحديد للغذاء أو تعاطيه في صورة كبسولات. ٢- إذا كان حجم خلايا الدم الحمراء طبيعى **Normocytosis** ويكون ذلك عند حدوث نزيف حاد. وتفيد عمليات نقل الدم كإستعاضة سريع لذلك. ٣- إذا كان حجم خلايا الدم الحمراء كبير **Macrocytosis** وهو يحدث عند نقص أى من فيتامين B-12 أو حامض الفوليك **Folic acid** وتعالج الحالة بجرعات من الإثنين معا. (لاحظ أنه لو صاحب ذلك خلل عصبي فيحتمل أن يكون ناتج عن نقص فيتامين B-12).

هذا وهناك حالة يزداد فيها عدد كريات الدم الحمراء في الدم وتسمى **Polycythemia** وهى عكس تماما ما يحدث عند الإصابة بالأنيميا (نقر الدم).

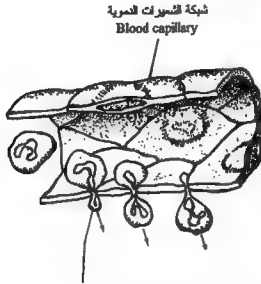
هذا ويتطلب الإكزان للداخلى Homeostasis فى الجسم للعمل الطبيعى للقلب والأوعية الدموية كما يتطلب أيضا أن يقوم الدم بنقل كمية كافية من الأكسجين للأنسجة. ولذلك فأى خلل فى إنتاج أو طبيعة تكوين كريات الدم الحمراء يعقبه مباشرة خلل فى الإكزان للداخلى Homeostasis فى الجسم. وهناك محاولات تجرى لعمل بديل لدم الإنسان لإستخدامه فى الطوارئ والحوادث خاصة التى تحدث منها فى المناطق الريفية النائية. وقد بدلت هذه المحاولات عام ١٩٦٦ حيث قام أحد الباحثين بغمر فأر (حيوان تجربة معملى) فى محلول رائق مشبع بالأكسجين من الفلوروكربون Fluorocarbon ووجد أن الفأر استمر فى التنفس فى المحلول لفترة من الوقت وبعد سحب الفأر من المحلول بفكرة قصيرة بدأ فى الحركة الطبيعية ولم يصب بأى أضرار. وأهم ما فى هذه التجربة أنه يمكن عمل محاليل مائتلة تحتوى على كمية كبيرة من الأكسجين تستخدم كبديل للدم (دم صناعى) لإستخدامها عند الضرورة.

وهناك محاولة أخرى قام بها بعض العلماء اليابانيون سنة ١٩٩٥ وهى أنهم قاموا عن طريق الهندسة الوراثية بإنتاج خلاير بها مجاميع الدم فى الإنسان (المعروف أن غشاء خلية الدم الحمراء يحتوى على بروتينات خاصة تختلف من شخص إلى آخر مما يؤدى إلى إبتلاخ مجاميع الدم) وبالتالى فلو نجحت هذه التجربة فيمكن أن يفيد تربية هذه الخلاير فى المستشفيات وعطى الطرق السريعة وأن تؤخذ مع الجنود فى حالة الحروب كما أنها يمكن أن تفيد أيضا فى عمليات تغيير الدم فى الإنسان.

٢- خلايا الدم البيضاء **Leukocytes Or White Blood Cells (WBCs)** : خلايا الدم البيضاء مثل خلايا الدم الحمراء يتم إنتاج كل أنواعها فى نخاع العظام. لكن خلايا الدم البيضاء تحتوى على نواه لذلك فإن العديد من خلايا الـ **Monocytes and Lymphocytes** تتطور وتتقسم بالأنسجة خارج نخاع العظام.

وخلايا الدم البيضاء عبارة عن جزء من آليات حماية الجسم ضد الكائنات الدقيقة مثل البكتريا والفيروسات. وكما ذكرنا من قبل فهى تدور فى الدم وتمثل ١% من الحجم الكلى للدم وهى تقوم بمصطم عملها فى الأنسجة خارج تيار الدم. لذا فإن وظيفة الدورة الدموية فى هذه الحالة هى توصيل هذه الخلايا إلى مكان الإصابة. وعندما تصل خلايا الدم البيضاء إلى مكان الإصابة فإنها تسنزلق من بين الخلايا الطلائية **Endothelial cells** المبطنة لجدار الشعيرات الدموية حيث تهرب هذه الخلايا

وتستقر في مكان الإصابة وتسمى الطريقة التي تتلاقى بها هذه الخلايا من الشعيرات الدموية إلى مكان الإصابة بطريقة **Diapedesis** (شكل ١٠-٥).



كريات الدم البيضاء تهاجر من شبكة الشعيرات الدموية
بطريقة **Diapedesis**
Leukocyte exiting capillary by diapedesis

شكل (١٠-٥) : ديجرام يوضح طريقة **Diapedesis** واهيا تتلاقى خلايا الدم البيضاء من بين الخلايا البطانية لطبقة Endothelium المبطن للشعيرات الدموية. منقول عن مرجع رقم ٢ بقائمة المراجع

ويمكن باستخدام الصبغات المناسبة تمييز الأنواع المختلفة لخلايا الدم البيضاء تحت الميكروسكوب وهي تقسم طبقاً لتركيبها **Structure** ولفتها **Affinity** للصبغات المختلفة إلى :
أ- الخلايا المتعادلة **Neutrophils** -ب- الخلايا وحيدة النواة **Monocytes** -ج- الخلايا الليمفاوية **Lymphocytes**.

١- الخلايا المتعادلة **Neutrophils** : سيت خلايا متعادلة لأن سيتوبلازمها له جاذبية قليلة جداً للصبغات. وحجمها ضعف خلايا الدم الحمراء وهي أكثر خلايا الدم البيضاء عدداً (العد التمييزي لخلايا الدم البيضاء **Differential count**). وتتميز هذه الخلايا بوجود نواة متعددة للنصوص **Multilobed** وتجذب الخلايا المتعادلة إلى المواد الكيميائية التي تفرز من الأنسجة المصابة حيث تهرب من الشعيرات الدموية وتنقل إلى الأنسجة المصابة عن طريق حركة أميبية. وهي تصل إلى النسيج المصاب وتعمل كجيش دفاعي ينتظر الهجوم البكتيري أو الفيروسى. ولذا فالخلايا المتعادلة هى أول خلايا تصل إلى مكان الإصابة وتلتهم البكتيريا والكائنات الدقيقة في مكان الإصابة وبالتالي

فهي تعتبر خط دفاع أول. وعندما تستنفذ كل الليموسومات الموجودة بالخلايا المتعادلة فإنها تموت وتصبح جزءاً من الصديد (السائل الأصفر) الموجود بمكان الإصابة حيث يتكون هذا الصديد من خلايا متعادلة ميتة ويكتريا حية وميته. بالإضافة إلى حطام الخلايا مكان الإصابة.

ب- الخلايا البيضاء وحيدة النواة **Monocytes** : كما إعتبرنا الخلايا المتعادلة هي خط دفاع أول ضد التلوث في مكان الإصابة فخلايا الدم البيضاء وحيدة النواة تعتبر فريق إزالة بقايا المعركة. والخلايا وحيدة النواة **Monocytes** لها نواة كلبية الشكل أو قد تكون على شكل حرف U وحجم هذه الخلايا يماثل حجم الخلايا المتعادلة وهي أيضاً خلايا ملتهمة ينقلها الجهاز الدوري إلى مكان الإصابة حيث تترك الشعيرات الدموية إلى مكان الإصابة عن طريق الحركة الأميبية وفي مكان الإصابة فهي تبدأ في إلتهم الكائنات الدقيقة والخلايا الميتة والخلايا المتعادلة الميتة لذا قلنا أنها فريق إزالة بقايا المعركة. أما بالنسبة لوجود الخلايا وحيدة النواة في الأنسجة الضامة فهي تكون ثابتة في مكانها تقريباً حيث تعمل كحارس وقائي ضد أى هجوم بكتيري وتسمى بالخلايا الملتهمة الكبيرة **Macrophages**.

ج- الخلايا الليمفاوية **Lymphocytes** يوجد نوعان من الخلايا الليمفاوية في الجسم -١- خلايا T الليمفاوية **T-lymphocytes or T cells** -٢- خلايا B الليمفاوية **B-lymphocytes or cells**.

وبوجه عام فإن الخلايا الليمفاوية **Lymphocytes** هي أكثر الخلايا البيضاء عدداً بعد الخلايا المتعادلة. وهذه الخلايا توجد خارج الجهاز الدوري في الأعضاء الليمفاوية مثل الطحال **Spleen** والغدة التيموسية **Thymus gland** والعقد الليمفاوية **Lymphatic nodes** وأيضاً في الأنسجة الليمفاوية (الأنسجة الليمفاوية عبارة عن تجمعات من خلايا ليمفاوية تقع تحت النسيج المبطن للقناة الهضمية والقناة التنفسية وتعمل من مكانها على مهاجمة الميكروبات المهاجمة).
أنواع الخلايا الليمفاوية :

أ- الخلايا الليمفاوية **T-lymphocytes Or T-cells** : وهي توفر مناعة خلوية **Cellular immunity** عن طريق مهاجمتها للخلايا الغريبة مثل الفطريات والطفيليات وخلايا الأورام.

ب- الخلايا الليمفاوية **B-lymphocytes Or B-cells** : وهذه الخلايا تتحول إلى خلايا بلازمية **Plasma cells** حيث تقوم بتخليق وإفراز بروتينات تسمى الأجسام المضادة **Antibodies**. هذه الأجسام المضادة تنتقل وتكدر في الدورة الدموية حيث لها القدرة على الارتباط بالأجسام الغريبة الضارة وتوقف أثرها. وبالتالي فهي تساعد الخلايا الملتهمة الكبيرة **Macrophages** على تدمير الكائنات الدقيقة وخلايا الأورام.

وعلى وجه العموم فإنه يزداد عدد خلايا الدم البيضاء أثناء الإصابة بالميكروبات وغيرها من الأمراض. وهذه الزيادة من خلايا الدم البيضاء Leukocytes تعتبر بمثابة إستجابة طبيعية لوجود كائن غريب متطفل داخل الجسم وتنتهي هذه الزيادة عند تكمير هذه الكائنات الغريبة المتطفلة. لذا فالعد التمييزي Differential count لخلايا الدم البيضاء يؤخذ كقياس لتشخيص كثير من الاختلالات الصحية في الجسم. وأيضاً مما تقدم نجد أن خلايا الدم البيضاء مثلها مثل خلايا الدم الأخرى تعتبر جزء من آليات الإتران الداخلي Homeostatic mechanisms في الجسم.

الأمراض الناجمة عن الخلل في وظائف خلايا الدم البيضاء : كما ذكرنا من قبل أن خلايا الدم البيضاء هي جزء من آليات الإتران الداخلي بالجسم وأى أمراض تنتج عن هذه الخلايا تؤثر بالطبع في الإتران الداخلي Internal balance Or homeostasis في الجسم وهناك بعض الأمراض التي تحدث نتيجة لحدوث خلل في وظائف هذه الخلايا من أمثلتها :

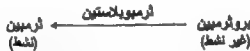
أ- مرض سرطان خلايا الدم البيضاء (أو الدم الأبيض) Leukemia : وفي هذا المرض تتحول خلايا الدم البيضاء إلى خلايا سرطانية تنقسم في نخاع العظام بسرعة وبدون ضوابط ثم تذهب إلى الدم مسببة هذا المرض. وهذا المرض له عدة أنواع أخطرها هو النوع الحاد Acute Leukemia حيث يسبب وفاة المصابين به بسرعة. ونسبة الأطفال المصابين بهذا المرض أعلا بكثير من نسبة البالغين المصابين به. وفي هذا المرض يمتلأ نخاع العظام بخلايا الدم البيضاء (كنتيجة لإقسام خلايا الدم البيضاء السريع والغير متحكم فيه) وتزاحم هذه الخلايا خلايا الدم الحمراء RBCs والصفائح الدموية وبالتالي يؤدي هذا إلى أنيميا (نتيجة إنتاج خلايا دم بيضاء على حساب خلايا الدم الحمراء وبالتالي نقص عدد الـ RBCs). وأيضاً نقص مقدرة الدم على للتجلط مع زيادة حدوث النزيف الداخلي بالإضافة إلى ذلك فإن هناك فرق بين خلايا الدم البيضاء العادية وخلايا الدم البيضاء السرطانية، فخلايا الدم البيضاء الناتجة عن إقسامات سرطانية لا تستطيع مقاومة العدوى وبالتالي فالمرضى بسرطان الدم الأبيض الماد يموتون كنتيجة لعدم قدرتهم على مقاومة العدوى وأيضاً لزيادة حدوث النزيف الداخلي. ويمكن علاج هذه الحالة عن طريقين : الأول وهو تعريض نخاع العظام للإشعاع لقتل الخلايا السرطانية والثاني وهو عن طريق الطاقير الطبية التي توقف إقسام الخلايا، فهناك عقار مستخلص من نبات العنقاوية الوردى Rosy Periwinkle وهو نبات إستوائي مستخلص منه مادة كيميائية تمنع إقسام خلايا الدم البيضاء بنخاع العظام ونسبة نجاحه في علاج مرض Leukemia تصل الآن لحوالي ٧٥%.

ب- مرض أحادي اللوامة العدوى Infectious mononucleosis : وهو مرض آخر ناتج عن الخلل في خلايا الدم البيضاء. وسبب هذا المرض فيروس ينتقل عن طريق اللعاب وينتشر عن-

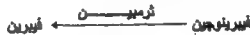
طريق قبيلات الأرواح أو استخدام أدوية الملوثة. والفيروس ينتشر في الجسم بسرعة ويؤثر على أعضاء كثيرة به، لكنه يصيب الخلايا الليمفاوية فقط - وأثناء العدوى تحدث زيادة سريعة لأعداد خلايا الدم البيضاء وحيدة النواة والخلايا الليمفاوية. وأعراض هذا المرض هي الإرهاق الشديد وآلام والتهاب الزور مع حمى خفيفة. وأهم طرق علاج هذا المرض هو الراحة التامة لفترة طويلة (بضع أسابيع) وشرب كميات كبيرة من السوائل حتى يعطى فرصة للجهاز المناعي للتخلص من الفيروس. وهذا المرض ليس له خطورة كبيرة حيث تختفى أعراض المرض بعد عدة أسابيع.

٣- الصفائح الدموية Platelets Or Thrombocytes : تعتبر الصفائح الدموية مكون حيوي لألية تجلط الدم Blood-clotting mechanism. والصفائح الدموية عديمة اللون وبها حبيبات عديدة وحجمها أصغر كثيراً من حجم كريات الدم الحمراء، والصفائح الدموية ليست خلايا ولكنها أجزاء خلوية صغيرة تنجح في نخاع العظام من خلايا كبيرة تسمى Megakaryocyte. وبالتالي فهي ليست خلايا حقيقية. كما أنها مثل RBCs فهي لا تنقسم كما أنها تتنقل ملياً في تيار الدم. وهي محاطة بمادة لزجة تجعلها تلتصق بالمناطق الغير مستوية مثل التمزقات في الأوعية الدموية ولزوجة الصفائح الدموية هذه تعتبر عامل هام جداً في عملية التجلط. وعملية تجلط الدم Blood clotting تعتبر آلية من آليات الإتران الداخلي المعقد في جسم الإنسان أو الحيوان، وترجع أهمية هذه العملية إلى أن الجهاز الدوري جهاز مرهف جدر بعض أوعيته رقيقة جداً لذلك فأي كدمة أو قشط تسبب تسرب الدم منه لكن يمنع هذا التسرب غالباً بواسطة تجلط الدم.

عملية تجلط الدم Blood Clotting : تبدأ عملية تجلط الدم بحدوث جرح في نسيج فيقوم النسيج المصاب بإفراز مادة في الدم تسمى الثرومبلاستين Thromboplastin وهي عبارة عن مادة ليوبروتينية تقوم بتحويل الصورة الغير نشطة من إنزيم في البلازما يسمى البروثرومبين Prothrombin (هذا الإنزيم الغير نشط ينتج من الكبد) إلى الصورة النشطة من الإنزيم وهي الثرومبين Thrombin.



ويقوم الثرومبين بتحويل بروتين آخر في الدم (ينتج من الكبد) اسمه فيبرينوجين Fibrinogen إلى فيبرين Fibrin.



والتيهين الناتج يكون عبارة عن ألياف متشعبة تكون ما يشبه للشبكة على جدار الوعاء الدموي المصاب (أو مكان الإصابة). حيث تقوم هذه الشبكة بإصطياد كريات الدم الحمراء والصفائح الدموية وتكون بذلك سدادة (جلطة) تمنع تسرب الدم. بالإضافة إلى ذلك تقوم الصفائح الدموية المحتجزة بواسطة شبكة الفيبرين بالقرار ثرموبلاستين إنشائي وبالتالي يسبب إصابة كميات أكبر من الفيبرين وبالتالي يحدث تجلط للدم بسرعة (من ٣ - ٦ دقائق). وتقوم الصفائح الدموية بعد ذلك (من ٣٠ - ٦٠ دقيقة) بإتمام إلتئام الجرح بالمعانة مع بعض عوامل النمو اليبوتيدية الأخرى مثل *Epidermal growth factor* (EGF) والذي يسبب زيادة إنقسام الخلايا في مكان الإصابة. أما الصفائح الدموية فهي تحتوي على بروتينات منقبضة *Contractile proteins* مثل البروتينات الموجودة في خلايا العضلات. وإقباض هذه الألياف البروتينية يجذب شبكة الفيبرين للدخل كما يجذب حواف الجرح بالقرب من بعضها حيث تعمل هذه الألياف البروتينية المنقبضة عمل شبه عمل الخيطة حيث تصبب قسمل الجرح وبالتالي فهي تساعد على صلبة إلتئام للجرح نفسه. بعد ذلك لا تستمر الجلطة في مكانها حيث يقاتلها في مكانها ويسبب إسمداد الوعاء الدموي الموجودة فيه، ولذلك فهناك إنزيم يسبب إذابة للجلطات ويسمى إنزيم البلازمين *Plasmin* وهو الذي يقوم بإذابة الجلطة المتكونة وإنزيم البلازمين يوجد في الدم في صورة غير نشطة تسمى بلازمينوجين *Plasminogen* وهذه الصورة الغير نشطة من الإنزيم تتدمج في الجلطة عند تكوينها وتتحول تدريجياً إلى البلازمين وينشط هذا التحول العامل المنشط لبلازمينوجين الأنسجة *Tissue plasminogen activator (TPA)* وهذا العامل يفرز من الخلايا البطانية المبطنة للأوعية الدموية وبالتالي عند تمام إلتئام الجرح يكون أغلب البلازمينوجين المتجمع في الجلطة قد تحول إلى بلازمين حيث يعمل هذا البلازمين على إذابة للجلطة بعد إلتئام للجرح. ولذلك فالعامل المنشط لبلازمينوجين الأنسجة *TPA* يستخدم كأحد العوامل المنشطة لإذابة الجلطات في المرضى المصابين ببعض الجلطات في الأوعية الدموية (مرض النوبات القلبية) حيث يسبب هذا العامل تحويل البلازمينوجين إلى بلازمين والأخير يسبب إذابة للجلطة. مما تقدم نستوضح أهمية جلطات الدم لمنع هروب الدم من الشعيرات الدموية إلى الأنسجة خاصة وأن الشعيرات الدموية في حالة دقة من الجروح والإلتئام. وبالرغم من أهمية تجلط الدم التي ذكرناها هذه إلا أن تجلط الدم يسبب ضرراً في بعض الحالات مثل تصلب الشرايين والمعروف أن تصلب الشرايين يسبب ضيق الشرايين المصابة وبالتالي فتجلط للدم بها يوق مرور الدم ويسبب مشاكل كثيرة منها النوبات القلبية. بالإضافة إلى ذلك فجلطات الدم تحدث بالقرب من مكان الإصابة في الأوعية الدموية الصغيرة ويمكن أن تنفصل هذه الجلطة وتنقل لوعاء دموي أضيق وتسده وتسبب

بذلك مشاكل صحية حيث هي بتلك تمنع ورود الدم للأشعة المغذاء عن طريق هذا الوعاء وقد تكون هذه هي أشعة للمخ أو القلب أو أى أنسجة حيوية أخرى.

الأضرار الناتجة عن اضطراب عملية التجلط : كما سبق أن ذكرنا أنه تحدث باستمرار تقوُّب صغيرة في الأوعية الدموية وباستمرار أيضاً تحدث جلطات وتلتئم هذه التقوُّب وبعد ذلك تذاب هذه الجلطات. هذا ما يحدث في الأشخاص الطبيعيون. أما في بعض الحالات فقد يحدث خلل في عملية التجلط كنتيجة لأحد الأسباب التالية :

١- **نقص عدد الصفائح الدموية :** والذي قد ينتج عن سرطان الدم Leukemia أو من التضرر لكمية عالية من الإشعاع الذي قد يدمر خلايا Megakaryocytes الموجودة في نخاع العظام كنتيجة لتدمير نخاع العظام نفسه. ٢- خلل في تكوين عوامل التجلط في الكبد : حيث يحدث نقص لإنتاج عوامل التجلط في الكبد كنتيجة تسرب المشروبات الكحولية أو نتيجة إتهاب الكبد Hepatitis أو سرطان الكبد. ٣- **نقص عوامل التجلط كنتيجة لأي خلل أو مرض وراثي :** فهناك مرض وراثي شائع يسبب نقص عوامل التجلط يسمى مرض النزف الدموي Hemophilia وفي هذا المرض لا تتكون أنواع معينة من عوامل التجلط. ومشاكل هذا المرض تبدأ مع بداية الحياة حيث تبدأ الجروح الصغيرة أو الكبيرة في النزف باستمرار بدون أي تحكم أو سيطرة عليها وبالتالي فهي تهدد حياة الشخص المصاب كما يعاني المريض بالنزف الدموي من آلام شديدة بالمفاصل كنتيجة للسلف المتكرر بها وبالتالي فهذا يسبب إعاقته عن الحركة ويمكن أن يؤدي إلى الوفاة.

وحتى الآن لا يوجد علاج للمرضى بالنزف الدموي إلا نقل عوامل التجلط لهم من شخص سليم كل بضعة أيام وطبعا هذه طريقة مكلفة كما أنها لها خطورتها من حيث أنها يمكن أن تنقل بعض الأمراض مثل مرض نقص المناعة المكتسبة AIDS (مرض الإيدز مرض فيروسي وينشأ هذا المرض عن طريق الاتصال الجنسي الشاذ. وينتقل أساساً من شخص إلى آخر عن طريق الإتصال الجنسي أو عن طريق علويات نقل الدم. وفيروس الإيدز AIDS يهاجم خلايا معينة من خلايا الدم البيضاء وهي خلايا T للمساعدة Helper-T-cells حيث يؤدي ذلك إلى تدهور تدريجي في وظائف الجهاز المناعي بالجسم مما يؤدي إلى وفاة محققة). ولذلك فيحتمل أن تكون عوامل التجلط أو الدم أو البلازما التي تنقل كل بضعة أيام للمرضى ملوثة بفيروس الإيدز مما يعقد المشكلة بدرجة أكبر بالنسبة للمرضى بالنزف الدموي (إلا إذا تم إختبار الدم لفيروس الإيدز بطريقة صحيحة مؤكده). وبالتالي فيطمع بعض الباحثين في التوصل إلى إنتاج عوامل التجلط عن طريق الهندسة الوراثية وحققها في دم الأشخاص المصابين بمرض النزف الدموي. وبالتالي يكون هناك حل ولو جزئ للمشكلة.

تنظيم إنتاج خلايا الدم Regulation Of Blood Cell Production : كل أنواع خلايا

الدم منشأها الأصلي مجموعة واحدة من خلايا نخاع العظام تسمى Pluripotent stem cells وهذه خلايا غير متميزة لكن لها القدرة على إنتاج مولات كل أنواع خلايا الدم حيث تنقسم لتنتج نوعين متميزين من الخلايا هما -١- Lymphoid stem cells والتي تغطي الخلايا الليمفاوية Lymphocytes -٢- Myeloid stem cells وهذه للخلايا تغطي باقي أنواع خلايا الدم البيضاء بالإضافة إلى خلايا الدم الحمراء أيضاً.

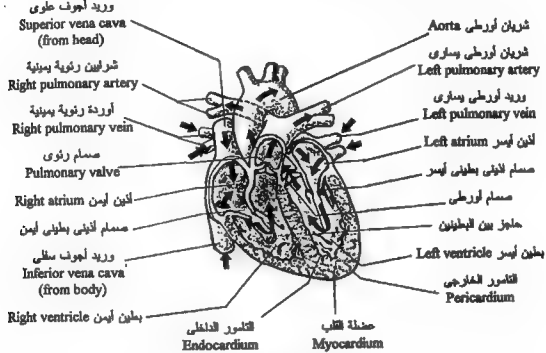
وهناك مجموعة من الهرمونات البروتينية وعددها حوالي ١٢ هرمون أو أكثر يعملوا على تنشيط خطوات إنتاج خلايا الدم المختلفة وتسمى هذه الهرمونات أو العوامل البروتينية فى مجملها بالـ (HGFs) Hematopoietic Growth Factors والهرمون للمنظم لإنتاج كريات الدم الحمراء RBCs (هرمون Erythropoietin) هو لحد أفراد مجموعة الـ HGFs.

هذا وتقوم مجموعة عوامل تسمى Colony stimulating factors (CSFs) بتبنيه إنتاج خلايا الدم البيضاء حيث تنبه خط للخلايا المؤدى لتكوين الخلايا العاضدية والقاعدية ووحدة الواد والمتعددة وكما سبق أن ذكرنا أنه فى البداية يعمل نخاع العظام جميعه فى عملية إنتاج خلايا الدم بأنواعها المختلفة أما عند عمر البلوغ فيبقى فقط نخاع عظام الصدر وقاعدة الجمجمة والأجزاء العليا من عظام الأطراف مستمرا ونشطا فى إنتاج خلايا الدم.

ثانياً : القلب Heart : القلب عبارة عن مضخة عضلية فى حجم قبضة اليد. وهو يضخ الدم ممميا تنقله بسرعة خلال كل الجهاز الوعائى. ونظرا لأن الدم يضخ (يتحرك) بكل مكوناته ليسمى هذا التدفق بالتدفق الكلى Bulk flow. والقلب يقع فى التجويف الصدرى Thoracic cavity وينبض باستمرار حوالى ٧٠-٨٠ نبضة كل دقيقة، وينظم هذا المعدل تبعاً لظروف الجسم المتغيرة. ويضخ القلب الدم فى الأوعية الدموية التى تتفرع لأصغر فأصغر حتى تصبح كل خلية من خلايا الجسم تقريباً قريبة من شعيرة دموية مما يسمح بتبادل العناصر الغذائية والأكسجين مع مخلفات عمليات التمثيل بالخلايا عن طريق وسيط وهى السمائل بين الخلايا. ويجدر الإشارة هنا أن ٥٠% من حجم الدم توجد دائماً فى الشعيرات الدموية وهى التى تقوم بوظائف الجهاز الدورى النهائية وهى عملية التبادل. أما الـ ١٥% الباقية من حجم الدم فهى تخدم وتطلق هذه الـ ٥٠% فقط إذ أنها تقوم بتوفير الكمية الكافية من الدم الذى يتدفق فى الجهاز الدورى ليوخدم الهدف النهائى وهى وظائف الـ ٥٠% الموجودة فى الشعيرات الدموية. والقلب يتكون من أربع حجرات لكن جدران القلب تتكون من ثلاث طبقات (شكل ١٠-٥) هى من الخارج للداخل : -١- التامور الخارجى Pericardium وهو كيس مغطى رقيق يحيط بالقلب ويقوّد الأوعية الدموية للدخلة والخارجة من القلب ويمتلئ هذا الكيس بسائل شفاف

لنرجع هذا السائل يعمل على تقليل الاحتكاك أثناء الانقباض المستمر للقلب -٢- الطبقة المتوسطة وهي عضلة القلب Myocardium وتعتبر هذه هي الجزء السميك قسى جدار القلب ومكونها الأساسي هي خلايا عضلات القلب. -٣- التلمور الداخلي Endocardium وهي طبقة الخلايا الطلائية المبطنة لمحجرات القلب (طبقة الـ Endothelium).

وقد اكتشفت الدورة الدموية عن طريق العلماء العرب لكن تؤكد هذا الاكتشاف بعد ذلك ودون عن طريق العالم ولهم هارني سنة ١٦٢٨.



شكل (١٠-٥) : الشكل يوضح طبقات جدار القلب الثلاثة وحجراته الأربعة وتدفق الدم خلال القلب.

والجهاز الدورى هو من أهم أجهزة الإتران الداخلى المتحكم Homeostatic control system فى الجسم وهو يتكون من القلب Heart وهو عبارة عن مضخة عضلية ودورتين أو دائرتين دمويتين Two circulatory loops الأولى وتسمى الدورة الرئوية وهي تورّد الدم للرئتين والأخرى تسمى الدورة الجهازية وهي تورّد الدم إلى باقى أجزاء الجسم.

١- الدورة الرئوية Pulmonary Circulation : القلب منقسم تشريحياً طولياً إلى نصفين كل نصف يتكون من أذين Atrium وهو لأعلى وطين Ventricle وهو أسفل الأذين ولا يوجد إتصال مباشر بين النصف الأيمن من القلب والنصف الأيسر منه. لكن هناك إتصال بين الأذين الأيمن والبطين الأيمن عن طريق صمام وليساً بالنسبة للجانب الأيسر (شكل ١٠-٥). ويكل جالب من

القلب عبارة عن مضخة منفصلة فالجانب الأيمن من القلب يضخ الدم في الدورة الرئوية (شكل ٦-١). حيث يضخ الدم من الأذين الأيمن إلى شريان كبير واحد يسمى الجزء الشرياني Pulmonary trunk والذي يتفرع بدوره إلى شريائين رئويين Pulmonary arteries حيث يدخل واحد إلى الرئة اليمنى والآخر إلى الرئة اليسرى. ويدخل الرئة يتفرع كل شريان إلى أصغر فاصغر حتى ينتهي بالشعيرات الدموية الرئوية Pulmonary capillaries الموجودة في الشعيرات الهوائية ويتم في هذا الوقت فقد تاتي أكسيد الكربون من الدم وتحمله بالأكسجين في هذه الشعيرات الدموية التي تتحد مع بعضها لتكون وريدات Venules وتتحد الوريدات أكبر فأكبر حتى تكون أوردة Veins ثم تتجمع في أربع أوردة رئوية Pulmonary veins. حيث يعود الدم المحمل بالأكسجين إلى الأذين الأيسر ومنه إلى البطين الأيسر (شكل ٧-١٠). ويلاحظ هنا أن عملية التبادل الغازي تمت في الحويصلات الهوائية بالرئة حيث انفصل ثاني أكسيد الكربون من الدم إلى هواء الرئة ولأخذ الدم الأكسجين الموجود بهواء الرئة.

٢- الدورة الجهازية Systemic Circulation وهي منفصلة تشريحياً عن الدورة الرئوية لكنهما يتعاونان وظيفياً ويقوم بهذه الدورة لتتوسط القلب. حيث يسود الدم المحمل بالأكسجين إلى الأذين الأيسر Left atrium ومنه إلى البطين الأيسر Left ventricle حيث يتم ضخ الدم إلى شريان واحد كبير يسمى بالأورطي Aorta والذي يتفرع أصغر فاصغر حتى يصل إلى الشعيرات الدموية المحيطة بكل خلايا الجسم (شكل ٦-١٠) حيث يترك الأكسجين في سوائل بين الخلايا ويحمل ثانية بثاني أكسيد الكربون.

ولزيادة إيضاح الدورتين الرئوية والجهازية نتتبع مسار الدم لدخل الجسم في دورة دموية ككل (شكل ٦-١٠). فلانم الوارد من الأسمجة والمحمل بثاني أكسيد الكربون بتركيز عالي مع نسبة منخفضة من الأكسجين يصل إلى الأذين الأيمن Right atrium من طريق الوريد الأجوف العلوي Superior vena cava (والذي يجمع الدم المائد للقلب من جزء الجسم العلوي) والوريد الأجوف السفلي Inferior vena cava (والذي يجمع الدم للمائد للقلب من جزء الجسم السفلي) ثم يضخ هذا الدم المحمل بثاني أكسيد الكربون من الأذين الأيمن إلى البطين الأيمن Right ventricle وهي الحجرة السفلي من الجانب الأيمن من القلب. ويقوم البطين الأيمن بضخ الدم إلى الشرايين الرئوية Pulmonary arteries التي تذهب إلى الرئتين وتتفرع لأصغر فاصغر داخل كل رئة لتصل إلى الشعيرات الدموية المغلفة لكل الشعيرات الهوائية. وفي هذا الوقت يحدث التبادل للغازي حيث يترك الدم ثاني أكسيد الكربون ويحمل بالأكسجين وتتجمع الشعيرات الدموية لتكون وريدات فأكبر فأكبر حتى تتكون الأوردة الرئوية

Pulmonary veins حيث تصعب الأوردة الرئوية مباشرة في الأذين الأيسر وهو الحجرة العلوية من الجانب الأيسر من القلب حيث يتم ضخ الدم المحمل بالأكسجين إلى البطين الأيسر وهو الحجرة السفلى في الجانب الأيسر من القلب. ثم يقوم البطين الأيسر بضخ الدم المحمل بالأكسجين (عن طريق انقباض جدره العضلية السميكة) إلى أكبر شريان في الجسم وهو شريان الأورطي **Aorta** والذي يتفرع إلى أصغر فاصغر حتى يصل الدم إلى الشعيرات الدموية المحيطة بكل خلايا الجسم (شكل ١٠-٦).

ويتضح مما سبق (شكل ١٠-٦) أن هناك عدة ملاحظات يمكن إيجازها في النقاط التالية :

١- أن الأوعية الدموية التي تحمل الدم للخارج من القلب تسمى شرايين بصرف النظر عن محتواها من الأكسجين أو ثنائي أكسيد الكربون. ٢- أما الأوعية الدموية التي تحمل الدم إلى القلب فتسمى أوردة بصرف النظر أيضا عن محتواها من الأكسجين أو ثنائي أكسيد الكربون ٣- أن كلا من الأذين الأيمن والأذين الأيسر يمثلان سويا **Simultaneously** ثم تنقبضان سويا أيضا لتسود الدم إلى البطين الأيمن والبطين الأيسر سويا وفي نفس الوقت.

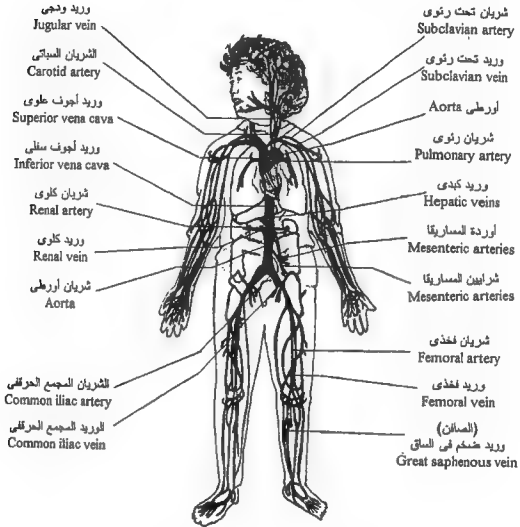
وبعد امتلاء البطينين فإنهما ينقبضان سويا أيضا ليدفع الدم إلى كلا من الدورة الرئوية والدورة الجهازية معا. ٤- إنقباضات عضلات القلب هذه يتم التحكم فيها وضبطها وسرعتها عن طريق آداة داخلية لتحديد السرعة تسمى للمنظم أو صانع السرعة **Pacemaker** ٥- أن الدم لا يمكنه المرور من الأوردة الجهازية إلى الشرايين الجهازية إلا بعد ضخه أولا إلى الرئتين حتى يتم تحميله بالأكسجين ثم يضخ مرة أخرى إلى الشرايين الجهازية ٦- أن أنسجة الجسم المختلفة تستقبل كل الدم الذي يضخه البطين الأيسر بينما تستقبل الرئتين كل الدم الذي يضخه البطين الأيمن.

التكوين التشريحي للقلب Anatomy Of The Heart : كما ذكرنا من قبل فالقلب عضو

عضلي يقع بالصدر ويحاط بغشاء التامور للخارجي والتي بينها وبين جدار القلب مسائل لزج يقلل الاحتكاك عند تحرك القلب لدخل الحوصلة. ثم عضلات القلب يطنها من الداخل طبقة من خلايا طلائية **Endothelial cells** وهذه الخلايا تبطن أيضا كل الأوعية الدموية. وكما ذكرنا أيضا فالقلب يقسم إلى نصفين كل نصف يتكون من حجرتين أدنى علوى وبطين سفلى. وبين كل أدنين وبطين توجد الصمامات الأتينية البطينية **Atrioventricular valves** ويتكون كل صمام من إثنين إلى ثلاث قطع مثبتة على الجدران الداخلية للبطينات بواسطة أحبال وترية رفيعة تشبه أحبال الباراشوت.

وصمام الجهة اليمنى الذي يفتح بين الأذين الأيمن والبطين الأيمن هو صمام ثلاثي الشرفات **Tricuspid valve** لأنه يحتوي على ٣ أسنة. أما صمام الجهة اليسرى الذي يفتح بين الأذين الأيسر والبطين الأيسر فهو صمام ثنائي الشرفات **Bicuspid valve** ويسمى أيضا الصمام الميترالى **Mitral valve**. (شكل ١٠-٥). لاحظ أن الأحبال الوترية التي تثبت شرفات الصمام لكلى فى

الصمام الميترالى عن الصمام الثلاثى للشرفات والفتحة بين البطين الأيمن والشريان الرئوى (الجذع الرئوى) ينظمها الصمام الرئوى **Pulmonary valve** والفتحة بين البطين الأيسر والأورطى ينظمها صمام الأورطى **Aortic valve**. والصمام الرئوى وصمام الأورطى هى صمامات هلالية **Semilunar valves** ثلاثية الشرفات **Tricuspid valves** (شكل ١٠-٥).



شكل (٦-١٠) : دياگرام يوضح الجهاز الدورى والدائرة الرئوية والدائرة الجهازية

وجدير بالذكر أن كل صمامات القلب (الصمامات الأذينية البطينية والصمامات الهلالية الموجودة بين البطين الأيمن والشريان الرئوى وبين البطين الأيسر والأورطى) جميعها تسمح بتدفق

الدم في إتجاه واحد One-way valves فهي تفتح عند زيادة ضغط الدم على جانبي الصمام وتغلق عند زيادة ضغط الدم على الجانب الآخر مشابهة في ذلك أجهزة التنفس تحت الماء حيث تسمح للغطاس أن يطرد هواء الزفير خارج القناع مع عدم السماح للماء بدخول القناع. وعند إنقباض الأذنين (الأيمن والأيسر) يقوم الدم بفتح الصمامات الأذنية البطينية ويدفع الدم إلى البطينين الأيمن والأيسر ويعد ملئهما ثقل للصمامات الأذنية البطينية لمنع عودة الدم للأذنين مرة أخرى.

وعند إنقباض البطينين (الأيمن والأيسر) يقوم الدم بفتح الصمامات الهلالية ويدفع الدم إلى خارج البطينات في الشرايين الكبيرة ثم تقلل الصمامات الهلالية وتمنع الدم من العودة إلى البطينات. تتدفق الدم **Blood Flow (BF)** : يكون تدفق الدم دائماً من المنطقة ذات الضغط (P) Pressure الأعلى إلى المنطقة ذات الضغط المنخفض. والفرق بين الضغط في المنطقة ذات الضغط الأعلى (P_H) والمنطقة ذات الضغط المنخفض (P_L) يرمز له بالرمز ΔP وهو يساوي الـ Pressure difference بين النقطتين وهو مقياس غير كافي لمعرفة معدل تدفق الدم بين النقطتين حيث يلزم أيضاً معرفة مقاومة جدر الأوعية الدموية (R) Resistance للدم أثناء احتكاكه بها لذا يمكن تلخيص العلاقات السابقة في المعادلة التالية :

$$BF = \frac{\Delta P}{R}$$

والمعادلة توضح أنه كلما زاد الفرق بين الضغط بين النقطتين كلما زادت معدلات تدفق الدم، وكلما زادت مقاومة جدر الأوعية الدموية لمرور الدم كلما قلت معدلات تدفق الدم. (لاحظ أن معدل تدفق الدم يقاس بوحدة مل/ (سم³/دقيقة) ml/min بينما وحدة قياس الضغط هي مليمتر زئبق mmHg) والمقاومة تتأثر بعدة عوامل هي : ١- قطر الوعاء الدموي كلما كان أوسع كلما قلت المقاومة ٢- طول الوعاء الدموي كلما كان أطول كلما زادت المقاومة ٣- اللزوجة Viscosity وهي عبارة عن مقياس للإحتكاك بين الطبقات المتجاورة للسائل المتدفق حيث تزداد لزوجة السائل بزيادة هذا الإحتكاك ولزوجة الدم ليست ثابتة لكنها تزيد بزيادة قيمة الهيماتوكريت Hematocrit value. ونظراً لثبات كلا من الهيماتوكريت وبالتالي اللزوجة وطول الأوعية الدموية في الإنسان الواحد أو الحيوان الواحد في الظروف الطبيعية فإن العامل الذي يؤثر على المقاومة Resistance هو قطر الوعاء الدموي. وبالتالي فكل العوامل التي تسبب ضيق الوعاء الدموي فهي تسبب أيضاً زيادة مقاومة تدفق الدم.

كمية الدفع القلبي Cardiac Output : تعرف كمية الدفع القلبي بأنها كمية الدم التي يدفعها القلب عن طريق البطينات كل دقيقة (أو الكمية التي تنفعاها بطينات القلب كل دقيقة). وفي حالة الراحة في الإنسان فإن القلب يضخ ٥ لتر دم كل دقيقة. وتزداد كمية الدفع القلبي كلما زاد متغيرين هما : ١- نبضات القلب/دقيقة Heart rate/min . ٢- والسعة الانقباضية Stroke volume وهي كمية الدم التي يضخها البطين الواحد في الانقباضة للوحدة. ويدهى أيضا أنه تقل كمية الدفع القلبي كلما قل هذين المتغيرين السابقين.

وفي كلاً من الإنسان والحيوان تتأثر كمية الدفع القلبي بدرجة كبيرة بالمجهود الجسماني، ففى الرياضيين في حالة للمجهود الرياضى الشاق يزيد ضخ القلب للدم إلى ٣٥ لتر في الدقيقة، أما فى غير الرياضيين فتزيد كمية الدفع القلبي إلى ٢٠ لتر في الدقيقة فقط.

أصوات القلب تنتج عن غلق صمامات القلب Heart Sounds Result From The Closing Of Various Heart Valves

Closing Of Various Heart Valves : بالطبع نحن نعلم جميعاً أن الطبيب بمجرد ما يبدأ الكشف على صدر إنسان أو حيوان يضع سماعة طبية (فى الماضى كان يضع اذنه على صدر الإنسان) لسمع أصوات القلب والتي هي ناتجة عن غلق صمامات القلب. والصوت الطبيعى للقلب الناتج عن غلق صماماته هو لوروب. ديب **Lab-Dupp**. والصوت الأول **Lab** ناتج عن غلق الصمامات الأنيقية البطينية وهو أطول من صوت القلب الثانى **Dupp** الناتج عن غلق الصمامات الهلالية. ولأن الصمامات الأنيقية البطينية اليمنى واليسرى والصمامات الهلاليين لا تغلق فى توقيت واحد لذا يمكن للطبيب تمييز صوت كل صمام بوضوح. ولا تصاب صمامات القلب فى معظم الناس بأى خلل طسوال فترة حياتهم. لكن هناك بعض الأمراض التي تسبب خلل فى صمامات القلب ومن أمثلة هذه الأمراض الحمى الروماتزمية **Reumatic fever** وهي تبدأ كإلتهاب فى الزور بواسطة أنواع من البكتريا العقدية **Streptococcus** وبالتالي يقوم الجسم بعمل أجسام مضادة لهذه البكتريا عن طريق جهازه المناعى. هذه الأجسام المضادة التي يلتجها الجسم هي التي تكمر صمامات القلب وتمنع صمام القلب من الغلق بإحكام كما تحدث التهابات فى الأنسجة. والصمامات المصابة فى هذه الحالة تسمح بعودة الدم إلى الأذينان أو البطينان مرة أخرى بعد الانقباض وتسمى هذه الحالة بقلبة كفاءة للصمامات **Valvular incompetence** وهي تسبب بالطبع نقص كفاءة القلب.

والصمامات الغير مملوئة تصدر صوتاً متميزاً كالخرير يسمى لخط القلب **Heart murmur**. وقد تنشأ هذه الأصوات أيضاً من إندفاع الدم خلال الصمامات الضيقة **Stenosis** أو تحدث نتيجة لعودة الدم فى الاتجاه العكسى كنتيجة لتسريب الصمامات للدم **Insufficiency** أو قد تحدث كنتيجة لتنفق الدم

بين الأذينين أو البطينين من ثقب في الجدار الفاصل بين كلا منهما. وبالطبع فكل هذه الحالات حالات مرضية.

وكما ذكرنا فالصمامات الغير سليمة تؤدي إلى نقص كفاءة القلب وبالتالي يقل ورود الدم للرئتين والأمسجة مما يدفع القلب إلى زيادة عدد ضرباته لتعويض هذا النقص، وزيادة هذا النشاط يسبب بدوره تضخم جدران القلب وفي بعض الحالات الشديدة يسبب إخفاق القلب Heart failure ولعلاج هذه الحالة يمكن إستبدال الصمامات.

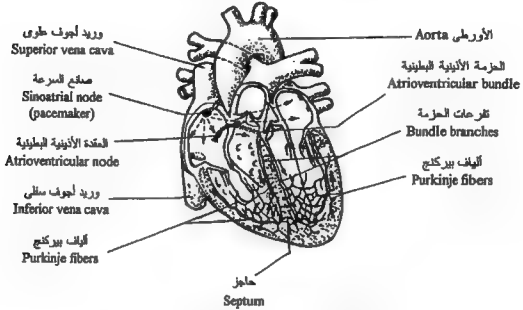
بالإضافة إلى ذلك فهناك بعض الأورام الخبيثة والندوبات التي تسبب ضيق الصمامات Valvular stenosis والتي تعوق الغلق الكامل لصمامات القلب كما يمكن أن تقلل أيضا مرور الدم للقلب وفي هذه الحالة يقل إمتلاء البطينات بالدم الكامل وبالتالي يعمل القلب بمعدلات أكثر لتوفير كمية من الدم للأمسجة مما يسبب مشاكل إضافية للقلب.

عضلة القلب Cardiac Muscle : عضلة القلب تحيط بغرف القلب وهي تتكون من خلايا العضلات القلبية مرتبة في طبقات متصلة بإحكام مع بعضها حيث تحيط غرف القلب إحاطة كلية تامة. وخلايا العضلات القلبية تجمع بين خواص العضلات الهيكلية والملماء. فهي مخططة وأقصر كثيراً من خلايا العضلات الهيكلية وتنتزع هذه الخلايا وترتبط كل خلية مع الخلايا المجاورة بواسطة الأكراس البينية. ووظيفة هذه الأكراس البينية هو العمل على تماسك عضلة القلب كما أنها تساعد على نقل التنبيه عبر نسيج عضلة القلب. والأكراس البينية Intercalated discs يوجد بداخلها Desmosomes وهذه تقوم بربط الخلايا القلبية مع بعضها كما تتصل بها الليفات العضلية. ويجوار هذه الأكراس توجد نقط اتصال Gap junctions مشابهة لتلك الموجودة في أغلب خلايا العضلات الملماء.

ويجدر الإشارة هنا أن هناك نسبة من الألياف العضلية ذات خصائص خاصة وهي لازمة للتهدج الطبيعي للقلب. هذه النسبة تقدر بـ ١% من نسبة الألياف العضلية، وهي تكون شبكة تسمى الجهاز الموصل للقلب Conducting system. وهذه الخلايا أيضا على اتصال ببقية خلايا القلب عن طريق ثغور الاتصال Gap junctions. ووظيفة الـ Conducting system أنه هو الذى ينشأ نبضة للقلب كما أنه يساعد على إنتشار هذه الإشارة بسرعة خلال القلب.

تنظيم نبض القلب Heart Beat Coordination : عضلة القلب مثلها مثل باقي الخلايا العضلية بالجسم من ناحية الإنقباض فهي تنقبض لإزالة إستقطاب أغشية خلايا القلب. والسدى يسمح بانتشار فعل الجهد من خلية قلبية لأخرى هي ثغور الاتصال Gap junction الموجودة بين خلايا عضلة القلب. وينظم القلب إقباضاته عن طريق صانع (منظم) للسرعة Pacemaker ويوجد في العقدة

الجيبية الأذينية (SA node) والتي توجد في جدار الأذين الأيمن (شكل ١٠-٨) بالقرب من مدخل الوريد الأجوف العلوي. وصداع السرعة Pacemaker عبارة عن مجموعة صغيرة من الخلايا تبدأ فيها إزالة الاستقطاب حيث ينتشر فعل الجهد منها خلال القلب بطريقة تمسب إقباض الأذينين أولاً ثم البطينين.



شكل (١٠-٧) : الشكل يوضح توصيل النبضات في القلب. فموضح أن الـ SA node هي صداع السرعة للقلب وهي تقع في الأذين الأيمن بالقرب من مدخل الوريد الأجوف العلوي.

وخلالها الـ SA node خلايا عضلية قلبية متخصصة ولذلك فهي تفرض إيقاع معين على عضلة القلب وتجعلها تنقبض بانتظام. وتنقبض خلايا الـ SA node تلقائياً وينتظام وكل إقباضه تحدث نبضة كهربائية حيوية Bioelectric impulse مماثلة لتلك التي تحدث في الخلايا العصبية ثم تنتشر هذه النبضات بسرعة في الأذينان من خلية عضلية إلى خلية عضلية أخرى مسببة إقباض الأذينين مترامنين مع بعضهما وينتظام (السبب في ذلك كما ذكرنا هو أن الخلايا العضلية بعضلة القلب ملتصقة ومتصلة ببعضها بإحكام) بعد ذلك يمر النبض الكهربائي من الأذينات إلى البطينات لكنه يمر ببطء بسبب وجود النسيج الذي يفصل الأذينات عن البطينات وهو نسيج غير قابل للتهدج بعد عبور هذا النسيج تحول للنبضة العصبية إلى كتلة أخرى متخصصة من الخلايا العضلية وهي المعدة الأذينية البطينية Atrioventricular node (AV node) (شكل ١٠-٧) (لاحظ أن عضلية إبطاء النبضة العصبية لمدة عشر ثانية بسبب لانشاء بين البطينين والأذينين لها فائدة هامة وهي أنها توفر وقت

كافى لتفريغ الأذنيات، كما أنها توفر وقت كافى أيضاً لإستلاء البطينات قبل تشييطها للإقباض. وللبض العصبى ينتقل بسرعة من العقدة الأذنية البطينية إلى إمتداد حزمه من خلايا متخصصة وتسمى الحزمة الأذنية البطينية Atrioventricular bundle وهى عبارة عن مجموعة من الألياف العضلية القلبية المتحورة التى تنقل النبض العصبى إلى جذران البطينات حيث تنقسم هذه الحزمة إلى فرعين يمران على جانبي الجدار الفاصل بين البطينين (شكل ١٠-٧) والنبضات العصبية تمر إلى أسفل فى هذه الفروع حيث تنتهى إلى فروع صغيرة وهى ألياف بيركنج Purkinje fibers التى تقوم بدورها بمد كل ليفة من الألياف العضلية القلبية.

والـ SA node فى قلب الإنسان والحيوان تنتج إيقاع منتظم ثابت حوالى ١٠٠ نبضة فى الدقيقة وهذا بطبيعة الحال أسرع من المعدلات المطلوبة بكثير. لذلك فإن المخ يرسل نبضات عصبية إلى القلب تقاوم أو تكبح الـ SA node حيث تعمل كالتقارن لتقليل نبضات القلب إلى ٧٠% نبضة/دقيقة بدلاً من مائة. وهناك ألياف عصبية أيضاً تسبب زيادة سرعة نبضات القلب لمقابلة الاحتياجات وقت اللزوم مثل ما يحدث فى حالة بذل المجهود Exercise أو الضغوط أو الجرى... الخ وهذه تزيد نبضات القلب كلما إدعت الحاجة حتى يمكن أن تصل إلى ١٨٠ نبضة فى الدقيقة الواحدة. وأيضاً فهناك بعض الهرمونات التى تسبب زيادة سرعة نبضات القلب مثل هرمون الإبينفرين Epinephrine المفرز من نخاع الغدة الجار كلوية فهو يسبب زيادة نبضات القلب وتدفق الدم (الدفع القلى Cardiac output).

وفى بعض الأحيان يحدث خلل فى تنظيم الـ SA node حيث يتحول القلب إلى كتلة من السجج العضلى المرتعشة والغير فعالة كما يحدث أيضاً تشنجات مصاحبة لبعض اللوبات القلبية بحيث تكبض كل عضلة فى القلب بمفردها بمعزل عن الأخرى وتسمى هذه الحالة من الفوضى بحالة الإختلاج القلى Fibrillation حيث تقل فيها كفاءة دفع القلب للدم (الدفع القلى). وقد تتطور الحالة ويتوقف الضخ القلى. ولما وبذا تكون قاتلة وتعرف هذه الحالة الأخسرة بإسم Cardiac arrest. وإزالة هذا الإختلاج Defibrillation يتم عن طريق تمرير تيار كهربى خلال جدار الصدر والسدى غالباً ما يعيد النشاط الكهروكيميائى ونبض القلب طبيعياً مرة أخرى. كما يمكن إزالة الإختلاج Defibrillation عن طريق الضغط على عظمة للقص Sternum كعملية تشويطية للقلب من الخارج.

النشاط الكهربائى للقلب يمكن قياسه من على سطح الصدر : الرسم الكهربائى للقلب The Electrocardiogram (ECG) : المعروف أن السطح الخارجى لغشاء الخلية العضلية موجب الشحنة والسطح الداخلى سالب الشحنة، وعند وصول الإشارة المنشطة لإنتقباض عضلة القلب إلى

خلية عضلية قلبية فإنها تجعل داخل الخلية بصفة مؤقتة زائد الشحنة الموجبة من خارجها (هذا التغيير للتح عن دخول أيونات الصوديوم داخل الخلية وتغير قطبية Polarity غشاء الخلية البلازمي) وهذا التغيير في القطبية يجعل الخلية تنقبض. وتغير قطبية الغشاء البلازمي للخلية العضلية أو إزالة الاستقطاب Depolarization يمكن معرفته (تكوينه) عن طريق أجهزة خاصة بذلك تسمى أجهزة رسم القلب أو رسم القلب الكهربائي. وأساس عمل هذا الجهاز هو أن التغيرات الكهروكيميائية التي ذكرت والتي تحدث في غشاء الخلية يمكن رسمها عن طريق أقطاب كهربائية سطحية وهي عبارة عن صفائح معدنية رفيعة وصغيرة متصلة بأسلاك وجهاز لقياس الفولت. وتوضع هذه الصفائح على صدر الشخص حيث ترصد مرور التيار الناتج عن إزالة استقطاب الخلايا العضلية القلبية. والقراءات الناتجة على جهاز قياس الفولت تسمى الرسم الكهربائي للقلب (ECG) Electrocardiogram ولشكل التالي (شكل ١٠-٨) يوضح الرسم الكهربائي لقلب طبيعي والذي يظهر ٣ موجات هي:

P wave أو الموجة الأولى وهي تمثل التغير الكهربائي الحادث عند انقباض أذينات القلب.
QRS wave أو الموجة الثانية وهي تسجل النشاط الكهربائي الحادث أثناء الانقباض البطيني للقلب.
T wave أو الموجة الثالثة وهي تسجل النشاط الكهربائي الحادث أثناء الانقباض البطيني للقلب.



شكل (١٠-٨) : الشكل يوضح رسم القلب الكهربائي ECG قلب عادي ويوضح فيه ثلاث موجات وهم P & T & QRS.

هذا ويستخدم ECG كوسيلة تشخيصية مفيدة لأطباء القلب مع ملاحظة أنه يكتشف فقط الخلل الذي يغير في النشاط الكهربائي للقلب حيث أن أمراض القلب قد تسبب خلل في واحد أو أكثر من أمواج الرسم الكهربائي للقلب ECG.

ثالثاً : الأوعية الدموية The Blood Vessels : الخواص الوظيفية والتركيبية للجهاز الوعائي تختلف مع تتابع تفرعته بينما هناك صفة مشتركة لكل أجزاء الجهاز القلبي الوعائي يشترك

فيها جميع أجزاء هذا الجهاز من القلب إلى أصغر شعيرة دموية، وهي أن جميعها مبطنة بطبقة واحدة ملساء من الخلايا البطانية **Endothelial cells** وتسمى أيضا طبقة الـ **Endothelium**. هذه الطبقة تبطن السطح الداخلي للقلب وجميع الأوعية الدموية. ولتضرب أمثلة فالشعيرات الدموية تتكون من طبقة الـ **Endothelium** فقط (الطبقة البطانية البطانية فقط). أما الأوعية الأخرى فتحتوى على طبقة من نسيج ضام وعضلات ملساء والطبقة البطانية **Endothelium** وكذلك القلب يبطن كل حجراته هذه الطبقة البطانية.

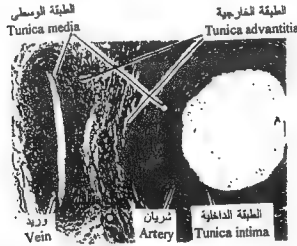
ولذلك فطبقة الخلايا البطانية **Endothelial cells** لها عدة وظائف هامة هي: ١- تبطن القلب وجميع الأوعية الدموية وبالتالي فالدم الذى يمر فى الدورة الدموية لا يقابل احتكاكات مختلفة أثناء مروره فى الأوعية المختلفة. ٢- تفرز خلايا هذه الطبقة مواد تعمل على انقباض أو إرخاء العضلات الملساء المجاورة لها فهي تفرز مادة الـ **Prostacyclin** ومادة الـ **Endothelium derived relaxing factor (EDRF)** وأى من هاتين المادتين تسبب إرخاء العضلات. كما تفرز مادة تسمى **Endothelin-I** وهي تسبب انقباض العضلات الملساء. ٣- هذه الطبقة تعمل على نمو شعيرات دموية جديدة. ٤- تنظم عملية إنتقال الجزيئات الكبيرة والمواد الأخرى بين البلازما والسوائل بين الخلايا. ٥- تفرز مواد منظمة لكلا من تجلط الدم ومنع تجلط الدم. ٦- تقوم بتحويل الهرمونات الغير نشطة إلى هرمونات نشطة. ٧- تقوم بهدم بعض الهرمونات والمواد المنظمة الأخرى. ٨- تنظم إنقسام العضلات الملساء فى حالة مرض تصلب الشرايين. ٩- تعمل وظيفة مماثلة لوظيفة الخلايا المتكلسة **Macrophages** خلال الإستجابات المناعية **Immune responses**.

ومن الناحية الوظيفية يمكن تقسيم الجهاز الدورى إلى أربعة أجزاء هي: ١- القلب ويعمل كمضخة ٢- الشرايين وهي جهاز التوزيع الذى يحمل الدم لأنسجة الجسم. ٣- الشعيرات الدموية وهي تكون جهاز التبادل ٤- الأوردة وتعود بالدم المحمل بمخلفات الخلية وتلقى أكسيد الكربون إلى القلب.

وبالرغم من أن الأوردة والشرايين يختلفان عن بعضهما فى أن الأوردة أصغر ولها جدر أرق من الشرايين كما أن شكلها غير منتظم (شكل ١٠-٩) إلا أن لكل من الشرايين والأوردة تركيب متشابه فكلهما يتكون من ثلاث طبقات (شكل ١٠-٩) هي: ١- طبقة خارجية من النسيج الضام وهي غلاف المنشأ **Tunica adventitia** وهذه الطبقة تقوم بربط الأوعية مع الأنسجة المحيطة ٢- **Tunica media** وهي الطبقة الوسطى وتتكون أساسا من عضلات ملساء ٣- **Tunica intima** وهي تتكون من خلايا بطانية مفلطحة وهي عبارة عن طبقة الخلايا البطانية **Endothelium**

or Endothelial cells -٤- كما يوجد بين الخلايا الطلائية البطانية والطبقة الوسطى طبقة رقيقة جدا من النسيج الضام الذى يربط الطبقتين ببعض.

جهاز التوزيع The Delivery System يتكون من الشرايين والشريينات **Arteries and arterioles** التى توزع الدم المحمل بالأكسجين إلى الأنسجة : يخرج الدم المحمل بالأكسجين من البطين الأيسر الذى يدفعه إلى شريان الأورطى **Aorta** وهو أكبر شرايين الجسم حيث ينحنى الأورطى



شكل (٩-١٠) : الشكل يوضح لمطاع عرضى فى وريد وشريان ويبين أن كلا من الوريد والشريان يتكونان من طبقت متشابهة

خلف القلب ثم ينزل خلال الصدر والبطن ثم وهو فى طريقة يتفرع إلى أفرع كبيرة وأول هذه الأفرع هى الشرايين التاجية **Coronary arteries** التى تصل للقلب لتمده بالدم المحمل بالأكسجين وبإلى الأفرع الكبيرة تحمل الدم إلى الرأس والأطراف والأعضاء الرئيسية مثل الكلى والأمعاء والمعدة. وجدار شريان الأورطى والشرايين الجهازية الأخرى تكون سميكة كما أنها تحتوى على كمية كبيرة من نسيج مرن وقطر هذه الشرايين كبير وبالتالي فهى أنابيب مرنة قليلة المقاومة تقوم وظيفتها بتوصيل الدم لأعضاء الجسم المختلفة، كما أن مرونة جدرانها تجعلها تعمل كخزان للضغط **Pressure reservoir** حيث تحافظ على معدلات تدفق الدم خلال الأنسجة فى فترة انقباض البطينين. والشرايين المرنة تتفرع لتكوين شرايين أصغر وهى الشرايين العضلية **Muscular arteries** والتى تحتوى على قليل من الألياف المرنة لكنها تستطيع التمدد والانقباض مع كل نبضة قلب وهذه الشرايين العضلية تكون موجودة قريبة من سطح الجلد وهى التى من خلالها يقوم الأطباء بعد النبض كمقياس لمعدل نبض القلب **Heart rate**.

وتتكيف الشرايين وتتسع عن طريق العضلات الملساء الموجودة في الطبقة الوسطى من جدرانها لتؤدي وظائف معينة يحتاجها الجسم فمثلاً تتسع للشرايين الموردة للعضلات في حالة مواجهة الفرد للخطر حتى يستطيع الهرب أو الجري مثلاً وفي هذه الحالة تتكفيض أيضاً للشرايين الموصلة المعدة مثلاً حيث أن ورود الدم لتلك الأماكن غير مطلوب في هذا الوقت.

ضغط الدم الشرياني Arterial Blood Pressure : يدفع البطين الأيسر الدم في شريان الأورطي ولذا فالقصى ضغط دم يكون مع بداية شريان الأورطي. بعد ذلك يقل ضغط الدم كلما زاد التفرع الشرياني حتى يصل أدناه عند الشعيرات الدموية وبالتالي تكون سرعة مرور الدم أضعافاً مضاعفة مما يسمح بعملية التبادل بين شعيرات الدم والسوائل بين الخلايا.

ويُقاس ضغط الدم بواسطة جهاز أو طوق ضغط الدم وفكرة هذا الجهاز أنه قابل للتمدد حيث يلف شريط من المطاط على ذراع الشخص ويبدأ في ضغط الهواء وعند نقطة معينة فإن ضغط الهواء يوقف مرور الدم في الشريان ثم يتم نفخ الهواء تدريجياً فيسمع صوت مرور الدم عند نقطة معينة وهي أقصى ضغط للدم خلال قمة الدفق البطيني وتسمى بالضغط السيمستولي Systolic pressure (SP) ثم يترك أيضاً الهواء فيفرغ تدريجياً حتى ينتهي الصوت تماماً فيكون هذا أقل ضغط دم خلال الدفق البطيني ويسمى الداي سيستولي Diastolic pressure (DP) ويتراوح ضغط الدم في الأشخاص البالغين بين $\left(\frac{SP}{DP}\right) : \frac{120}{80}$ ويجدر الإشارة هنا أن متوسط ضغط الدم الشرياني Mean Arterial Pressure (MAP) لا يحسب على أساس متوسط SP & DP لأن DP يبقى لفترة أطول من SP ولذلك فهو يحسب كما في المعادلة التالية :

$$\begin{aligned} MAP &= DP + \frac{1}{3}(SP - DP) \\ &= 70 + \frac{1}{3}(120 - 70) \\ &= 70 + 16.6 \\ &= 86.6 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

ومقياس MAP هو المقياس المهم وذلك نظراً لتغير ضغط الدم الشرياني باستمرار خلال الدورة القلبية وهذا المقياس يمثل متوسط الضغط الذي يدفع الدم في الأوعية خلال كامل الدورة.

الشريينات والشعيرات الدموية Arterioles And Capillaries : من أهم الأنوار التي تقوم بها الشريينات أنها المسؤولة عن تحديد التدفق النسبي للدم في دليخل كل عضو كما أنها أحد العوامل الرئيسية المحددة لمتوسط ضغط الدم الشرياني. والدم يتفرع أصلاً من شريان الأورطي إلى الشرايين الرئيسية ثم تتفرع هذه الشرايين الرئيسية داخل كل عضو إلى شريينات وعند مرور الدم في الشريينات

يحدث نقص كبير في متوسط ضغط الدم ويبدأ الضغط النخفي يقل تدريجياً حتى يصل إلى نقطة يكون فيها تدفق الدم للشعيرات الدموية والأوردة غير ناضج.

والشعيرات الدموية تقوم بالوظيفة الرئيسية للجهاز الدورى لذلك فهي التى تسمح بتبادل العناصر الغذائية والفضلات بين الدم وخلايا الجسم ولذا يوجد بها ٥% من كمية الدم الكلى بالجسم. فالتلب والشرابين والأوردة جهاز محكم يقوم بنقل الدم من وإلى الشعيرات الدموية.

وكما ذكرنا من قبل فالشعيرات الدموية تتكون جدرانها من طبقة واحدة من الخلايا الطلائية البطانية المغطاة Endothelial cells مرتكزة على غشاء قاعى Basement membrane. والشعيرات الدموية لا تحاط جدرانها بطبقة من الأنسجة المرنة أو العضلات الملساء والخلايا الطلائية المكونة لجدر الشعيرات الدموية تسمح بمرور المواد الذاتية خلالها بسهولة كما أنها تتفصل عن بعضها بمسافات ضيقة مملوءة بالماء تسمى الفراغات بين الخلوية Inter cellular cleft وفى بعض الأماكن مثل الكلية والأمعاء الدقيقة توجد نوافذ صغيرة Fenestrae فى خلايا جدر الشعيرات الدموية وهذه النوافذ عبارة عن حويصلات Vesicles وهى إما أن تكون Exocytotic vesicles أو أن تكون Endocytotic vesicles. وأحياناً تتصل هذه الحويصلات لتكون قنوات حويصلية متصلة Fused vesicle channels فى الخلية.

وهذه النوافذ أو الحويصلات تسمح بإتقال أكبر للجزيئات من وإلى الشعيرات الدموية. وقد دون بعض الباحثين أن طول للشعيرات الدموية بجسم الإنسان البالغ يبلغ ٤٢ ألف كيلو متر ودون البعض الآخر بيانات تصل إلى ٨٠ ألف كيلو متر. لكن المهم من هذه الأرقام أنها تدلنا على التفرع الشديد للشعيرات الدموية والذي يسبب بطئ سرعة الدم بها ونقص الضغط بها أيضاً وكل هذه العوامل تزيد من كفاءة التبادل فى الشعيرات الدموية.

وهناك عامل يؤثر على سريان الدم فى شبكة الشعيرات الدموية وبالتالي على عملية التبادل نفسها هذا العامل هو انقباض وإنبساط ما بعد الشريينات (أو ما قبل الشعيرات أيضاً) فعندما ينتفخ ما بعد الشريان يزداد توارد الدم للشعيرات الدموية والعكس صحيح ولذا تأخذ مثالا لذلك وهو الإنسان أو الحيوان فى حالة الجو البارد يقل ما بعد الشريان بالنسبة للشريينات الموصلة للجلد وبالتالي لا يصل الدم للشعيرات الدموية الموجودة بالجلد الأمر الذى ينتج عنه نقص للتدفق الحرارى وبالتالي المحافظة على حرارة الجسم. أما فى حالة الجو الحار فيفتح ما بعد الشريان وبالتالي يزداد تدفق الدم للجلد (ينظهر لونه متوردد فى وجه الإنسان) مما يسبب زيادة التدفق الحرارى. ولذا فإن هذه الصمامات ما قبل الشعيرات (أو ما بعد الشريينات) تعتبر وسيلة للضبط الدقيق الذى يقوم به الجسم لتعديل دورته الدموية حسب الظروف الموضوع فيها وتنظيم سريان الدم أيضاً. وهذه الصمامات ما بعد الشريينات عبارة عن

حلقاء عضلية تسمى الصمامات ما قبل الشعيرات **Pre-capillary sphincters** وهذه تفتح وتغلق كاستجابة لبعض الرسل الكيميائية **Chemical messengers** التي يفرزها الجسم.

آليات التبادل عبر جدر الشعيرات الدموية : Capillary Exchange Mechanisms :
هناك ثلاث آليات معروفة حتى الآن تنتقل بواسطتها المواد من وإلى الشعيرات الدموية إلى ومن سوائيل بين الخلايا **Interstitial fluids** وهذه الآليات هي : ١- **الانتشار Diffusion** حيث يتم فيه نقل العناصر الغذائية والأكسجين ونواتج الأيض الغذائي عبر جدر الشعيرات الدموية وهناك نوعان من المواد يمران بالانتشار النوع الأول وهو المواد القابلة للذوبان في الدهن مثل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون فهي تمر مباشرة عبر الغشاء الليبوبروتيني للخلايا الطلائية. أما المواد القابلة للذوبان في الماء فهي تمر بين الفراغات في الخلايا المتجاورة وتسمى هذه الفراغات بالقنوات المائية **Water filled channels** ٢- **النقل عن طريق الحويصلات Vesicle transport** ويتم ذلك عن طريق الابتلاع الخلوي **Endocytosis** ويحدث ذلك لبعض جزيئات البروتين نظراً لكون حجمها. ٣- يتم النقل بين الخلايا الطلائية البطانية في الشعيرات الدموية ٤- أو قد يتم النقل عن طريق التدفق الكلى عبر أغشية الشعيرات الدموية حيث يحدث ذلك بالنسبة للبلازما الخالية من البروتين كآلية وظيفية لتوزيع السوائل خارج خلوية حتى يتم الاتزان بين السوائل داخل الخلايا وخارجها.

تنظيم تدفق الدم (سرير الدم) في الشريينات: Regulation Of Blood Flow In

Arterioles: جدر الشريينات كما ذكرنا مغلقة بطبقة من العضلات الملساء هذه العضلات عندما تنقبض **Vasoconstriction** يقل توارد الدم للمضو أو التضييق التي تغذيها والعكس عندما تتسع **Vasodilatation** يزداد توارد الدم للمضو أو التوسع التي تغذيها. لذا فإن ضبط توزيع الدورة الدموية **Circulatory adjustment** يعتمد على درجة إنقباض أو إتساع هذه العضلات. وإنقباض أو إتساع هذه العضلات يتم عن طريق نوعين من التنظيمات هما : ١- التنظيم الموضعي أو المحلي ٢- التنظيم من خارج الشريينات (التنظيم الخارجى).

١- **التنظيم المحلي أو الموضعي Local control** وهذا التنظيم يعمل بصرف النظر عن

الجهاز العصبي أو الجهاز الهرموني ويتم عن طريق ١- **زيادة توارد الدم Active Hyperemia** فيزداد توارد الدم للمضو كنتيجة لزيادة عمليات الميتابولزم به فمثلاً يزداد توارد الدم للعضلة الهيكلية كنتيجة لزيادة نشاط العضلة حيث يزداد إرتخاء الشريينات في العضو الأكثر نشاطاً كنتيجة للتغيرات الكيميائية التي تحدث موضعياً كنتيجة للنشاط الميتابولزمي للمضو ودون أدنى علاقة بالأعصاب أو الهرمونات. والتغيرات الكيميائية الموضعية التي تسبب إرتخاء الشريينات قد تشمل نقص الأكسجين

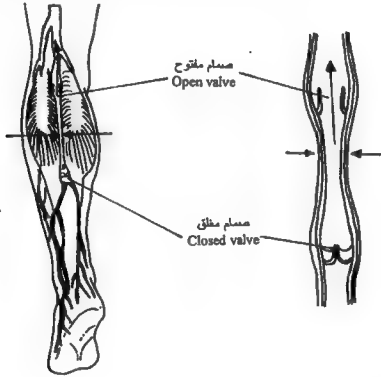
زيادة ثاني أكسيد الكربون وزيادة أيون الهيدروجين وتغير ارتباط الفوسفات بالأدينوزين (ATP or ADP) وأيضاً زيادة تركيز البوتاسيوم والأمموزية والبروستاجلاندينات فكلها عوامل تسبب إرتخاء الشريينات وزيادة تنفق الدم للعضو أو النسيج. وللتغيرات السابقة تظهر بوضوح في القلب والمضلات الهيكلية. -ب- تنظيم للتدفق ذاتي **Flow Autoregulation** أساس هذا التنظيم هو نفس التنظيم الموضوعي إلا أنهما يختلفان في المسبب ففي التنظيم الموضوعي يكون المسبب هو زيادة نشاط العضو أما في هذا التنظيم لسببه نقص الدم الوارد لشريين كنتيجة لإسداد هذا الشريان ونتيجة لذلك ينقص الأكسجين ويزداد ثاني أكسيد الكربون كنتيجة لنقص توارد الدم للعضو وبالتالي فهذه الكيماويات تعمل موضعياً على إرتخاء جدار الشريان داخل العضو مما يؤدي للمحافظة على التدفق للنسبي للدم داخل هذا العضو. -ج- زيادة توارد الدم كنشاط مضاد **Reactive hyperemia** عند حدوث عائق في توارد الدم للعضو ما تبدأ خلايا هذا العضو في إفراز الكيماويات الموضوعية (السابق ذكرها في التنظيم الموضوعي) وبالتالي يزداد إرتخاء الشريينات وعند إزالة هذا العائق يزداد بالتالي توارد الدم لهذا العضو. -د- الإلتهاب كاستجابة للإصابة **Inflammation as a response to injury** الإلتهاب يعتبر استجابة للإصابة وفيه تبرز الخلايا المصابة عدة مواد كيميائية كما يتم تكوين كيماويات أخرى من خلايا الدم كل هذه المواد تعمل على إرتخاء الشريينات وبالتالي زيادة توارد الدم للنسيج المصاب.

-ب- التنظيم خارج الشريينات (التنظيم الخارجي) **Extrinsic Control** : توجد على أغشية خلايا الشريينات العضلية الملساء مستقبلات لبعض الهرمونات العصبية مثل هرمون أبينغرون (Epinephrine (E) المفرز من نخاع الغدة الجاركلوية وهرمون Angiotensin II (يعتبر قابض لمعظم جدر الشريينات) وهرمون Vasopressin (يسبب أيضاً إنقباض الشريينات) وهرمون Atrial Natriuretic Factor (ANF) ويفرز من خلايا جدر الأنينات بالقلب وهو يسبب إرتخاء الشريينات. كما يوجد أيضاً مستقبلات لبعض الناقلات العصبية مثل هرمون Norepinephrine (NE) المفرز من نخاع الجاركلوية والجهاز العصبي السمبثاوي. وهرموني E & NE يعملان على نوعين من المستقبلات موجودة على أغشية الخلايا العضلية الملساء وهما α and β adrenergic receptors حيث يسببان إنقباض أو إلتساع تلك الشريينات وبالتالي فكل العوامل السابقة هي عوامل خارجية (خارج الشريينات) وتعمل على إلتساعها أو إنقباضها.

الأوردة Veins : كما ذكرنا من قبل أن الشريان التاجي يدفع الدم إلى أن يصل إلى شبكة الشعيرات الدموية (جهاز التبادل) بعد ذلك يعود الدم المحمل بالمخلفات وثاني أكسيد الكربون في الوريدات حيث تتحد الوريدات لكبر فأكبر ويستمرار يقل ضغط الدم حتى يصل لأقل ضغط دم في

الوريدين الأجوف العلوى والأجوف السفلى وبالرغم من هذا الإختفاض فى ضغط الدم يعود الدم للقلب. فالأوردة الموجودة أعلا للقلب يعود الدم منها للقلب عن طريق فعل الجاذبية الأرضية. أما الأوردة الموجودة أسفل للقلب فضغط الدم فيها ضعيف لكن يعود الدم منها للقلب عن طريق حركة أجزاء الجسم التى تنفع الدم منها للقلب فمثلا أثناء المشى تنقبض عضلات الأرجل وتنفع الدم إلى أعلا ببطى وثبات وانتظام.

والحركة ليست كافية ويمكن أن تغيب هذه الحركة. ولذلك توجد صمامات داخل الأوردة (شكل ١٠-١) هذه الصمامات عبارة عن قطع من اللصيق وهى صمامات هلالية مثل الموجودة فى القلب



شكل (١٠-١) : الشكل يوضح أن انقباض العضلات الهيكلية يسبب دفع الدم لأعلى على طول الأوردة ويوضح طريقة عمل الصمامات الهلالية داخل الأوردة التى تسمح للدم بالمرور فى إتجاه واحد ولا تسمح له بالعودة.

وهى تسمح للدم بالمرور فى إتجاه واحد (فى إتجاه القلب) ولا تسمح له بالعودة. وكما فى صمامات القلب بالضبط فإن ضغط الدم ولو كان قليلا فهو يفتح الصمام ويمر الدم لأعلى ويعد امتلاء الوريد بالدم أمام الصمام يخلق للصمام كنتيجة لضغط الدم عليه. وأماكن الصمامات على الأوردة يمكن تحسسها عن طريق اللمس فيمكن تحسس للصمامات على الأوردة السطحية فى الزراع قبـالضغط الخفيف على طول هذه الأوردة توجد أماكن لا تتضبط كساقيتها وهذه هى أماكن الصمامات.

الجهاز الليمفاوى

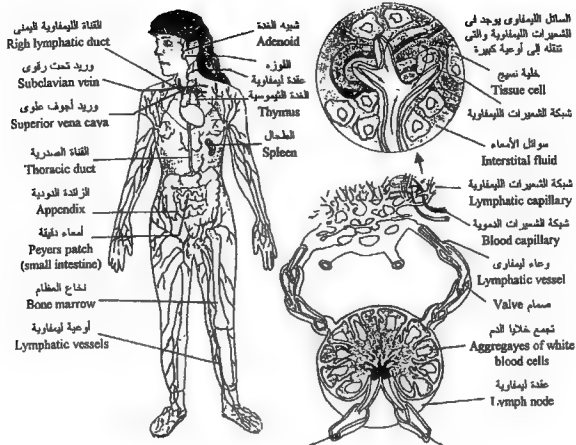
The Lymphatic System

علاقة الجهاز الليمفاوى بالجهاز الدورى : الجهاز الليمفاوى عبارة عن شبكة من الأوعية التى تنقل الماء الزائد إلى الأوردة الكبيرة أسفل العنق حيث تمده إلى الدم. ولإيضاح ذلك فلنحس نعلم أن خلايا الجسم توجد مغمورة فى سائل بين الخلايا *Interstitial fluid* وهذا السائل يكون دائما فى إيزان مع الدم وذلك لأن هذا السائل هو وسط للتبادل لجهاز التبادل من الشعيرات الدموية السابق ذكره. ومرور الماء من الشعيرات الدموية إلى سائل بين الخلايا يزيد دائما عن مرور الماء من سائل بين الخلايا إلى الشعيرات الدموية بما يعادل تقريبا ٣ لتر يوميا. هذه الثلاثة ترات هي التى يتم نقلها عن طريق الأوعية الليمفاوية لتصب الماء فى الأوردة الكبيرة أسفل العنق (شكل ١٠-١١).

بالإضافة إلى ذلك فالجهاز الليمفاوى يحتوى على عدة أعضاء ليمفاوية وهى العقد الليمفاوية *Lymph nodes* والطحال *Spleen* والغدة التيموسية *Thymus gland* واللوز *Tonsils* وهذه الأعضاء دور كبير فى الوقاية والمناعة.

مرور السائل من سائل بين الخلايا إلى الجهاز الدورى عبر الجهاز الليمفاوى : يلتصق السائل بين الخلايا إلى الشعيرات الليمفاوية *Lymph capillaries* وهذه الشعيرات ذات جدر رقيقة وعالية النفاذية حيث يمر منها الماء والمواد الأخرى بسهولة. والسائل تمر فى هذه الشعيرات الليمفاوية فى إتجاه واحد من السائل بين خلوية إلى الجهاز الدورى. والسائل الذى يدخل هذه الشعيرات الليمفاوية يسمى الليمف *Lymph* وجدر لشعيرات الليمفاوية تتدخل خلاياها مكونة صمامات ذات إتجاه واحد (مثل الأبواب الهزازة) وتراكم السوائل فى الأنسجة يدفع هذه الصمامات فتدخل السوائل وتفلق هذه الصمامات كنتيجة لضغط السوائل التى دخلت. ويلاحظ أن هذه الصمامات تفتح فى إتجاه واحد. وبعد مرور الليمف من الشعيرات الليمفاوية فإن هذه الشعيرات تتحد لتكون أوعية أكبر وهى الأوعية المجمعة وهذه الأوعية المجمعة تتحد مكونة أوعية أكبر فأكبر إلى أن تكون فى النهاية الوعاء الليمفاوى الصدرى *Thoracic duct* والوعاء الليمفاوى الأيمن *Right lymphatic duct* (شكل ١٠-١١) وهذان الوعاءان الليمفاويان يصبان فى الأوعية الدموية الكبيرة أسفل العنق (شكل ١٠-١١).

وننتقل الليمف فى الجهاز الليمفاوى يتم بطريقة مشابهة لتلك فى الجهاز الدورى. فالسائل فى الأوعية الليمفاوية أعلى العنق تنتقل عن طريق فعل الجاذبية الأرضية. أما السوائل فى الأوعية الليمفاوية أسفل القلب فهى تنتقل مثل الجهاز الدورى تماما عن طريق إقباض العضلات أثناء المشى والتنفس. كذلك يتم تنظيم سريان سائل الليمف صمامات كذلك الموجودة بالأوعية الدموية.



الجهار الليمفاوى يتكون من أوعية
تتقال سائل الليمف والموائى الزائدة
بالأنسجة للدورة الدموية

مثل الأوردة فالأوعية الليمفاوية
تحتوى على صمامات



هذه الأوعية رفيعة الجدر تمتص
كمية كبيرة من موائى الأنسجة
فخلايا الجدار تضغط إلى الداخل
لتسمح للموائى لدخول الأوعية

نمكل (١٠-١١) : الجهار الليمفاوى The Lymphatic System
منقول عن مرجع رقم ٢ بقائمة المراجع

والعقد الليمفاوية Lymphatic nodes عبارة عن أعضاء عدلية صغيرة توجد عسى بمساحة الأوعية الليمفاوية الرئيسية وهي تختلف في الشكل والحجم، وتوجد في تجمعات صغيرة تحت الأبط والعنق وفي مواقع متعددة بالجسم. وهذه العقد تتكون من شبكة من الألياف وقنوات غير منتظمة وهذه تسبب بطء مرور سائل الليمف بالإضافة إلى أن هذه القنوات أو الممرات مبطنة بكمية كبيرة من الخلايا الملتصمة الكبيرة Macrophages حيث تقوم هذه الخلايا بابتلاع كل المواد الغريبة المحمولة مع الليمف (من بكتيريا وفيروسات وحطام خلايا... الخ). وبالتالي فالعقد الليمفاوية تعمل كمرشحات لسائل الليمف. ولذلك فعند وجود بكتيريا أو فيروسات تتضاعف الخلايا الليمفاوية في العقد الليمفاوية كاستجابة للإصابة بالميكروبات حتى يمكنها مقاومة تلك الميكروبات وتدميرها (لاحظ تضخم العقد الليمفاوية في العنق عند الإصابة بالتهاب في الزور - أى وجود عدوى). وهذا التضخم في العقد الليمفاوية عبارة عن إحتقان بخلايا ليمفاوية وخلايا منته. وهناك حماية أخرى توفرها العقد الليمفاوية عن طريق الجهاز الدوري حيث تخرج الخلايا الليمفاوية-T والأجسام المضادة مع الليمف من العقد الليمفاوية حيث تصل للجهاز الدوري لتقوم بمقاومة الميكروبات المهاجمة في أماكن أخرى من الجسم.

مرض الفيل Elephantiasis : في بعض المناطق الإستوائية يحدث بعض البعوض عدوى ببعض الديدان الطفيلية الدقيقة فتدخل يرقات الديدان الغير ناضجة وتستقر في العقد الليمفاوية مكونة بثور أو ندبات. هذه الندبات تعوق سير الليمف فيمد مدة من الزمن تقدر بعدة سنوات تتضخم الأرجل بدرجة كبيرة نتيجة بقاء وتخزين سوائل الليمف بها حتى يمكن أن يصل وزن الرجل لوزن يثارب وزن بقية الجسم (شكل ١٠-١٢) ويمكن أن تؤثر هذه الحالة المرضية على كيس الصفن حيث يمتلأ بسائل



شكل (١٠-١٢) : مرض الفيل Elephantiasis

الليف (إستسقاء فى كيس الصفن ويداء له الخصيتين) ويزداد تضخم كيس الصفن حتى أن الرجل المصاب يمكن أن تصل به الحالة إلى إحتياجه لمريه يد لوضع كيس الصفن عليها حتى يمكنه الحركة من مكان لآخر .

هالا · الحروق : كما سبق وذكرنا أن الليف يزال من الأنسجة بمعدل يساوى إنتاجه هذا ما يحدث فى الظروف العادية. أما فى حالة الحروق فإن هذه الحروق تدمر كثير من الشعيرات الدموية ويزيد تسرب السوائل منها وبالتالي يكون تراكم السوائل بمعدلات أكبر من كفاءة الجهاز الليمفاوى على جمعها وهذا يسبب إستسقاء Edema ومعناه إحتجاز السوائل فى الأنسجة. وهذا ما نلاحظه عند حدوث حرق أو لسع لسطح الجلد من مكان ساخن حيث تظهر حوصلات مائنة بالسائل مكان هذا الحرق حيث تكون ظاهرة ويوضح.

الباب الحادى عشر

الجهاز التنفسى

The Respiratory System

مقدمة Introduction : الجهاز التنفسى يحتوى من بين أجزائه على الرئتين وهى مكان التبادل الحيوى The vital exchange (أى هى المكان الرئيسى للتنفس Respiration) وهذه هى الوظيفة الرئيسية للجهاز التنفسى فى الإنسان وفى بعض الحيوانات حيث يتم داخل الجهاز التنفسى تبادل الأكسجين الذى يرتبط بهيموجلوبين الدم وطرد ثالى أكسيد الكربون مع هواء الزفير. أما فى بعض الحيوانات الأخرى مثل الأضام والكلب والدجاج فهنا إضافة لهذه الوظيفة الرئيسية السابقة فهنا الجهاز التنفسى وظيفة أخرى عامة جداً وهى التخلص من الحرارة (التقد الحرارى Heat loss عن طريق التبخير من الجهاز التنفسى Respiratory evaporation. فالمعروف أن الكلب والدجاجة لا يحتويان على خدد عرقية وأيضاً الأضام تحتوي على خدد عرقية لكنها غير فعالة حيث تغطى بغطاء صوفى. ولذا فاللقد الحرارى فى هذه الحيوانات يتم عن طريق تبخير الماء من الرئتين Respiratory evaporation ولذلك نجد أنه عند تعرض هذه الحيوانات للصدمات الحارة تزداد بها معدلات التنفس من حوالى ٣٠ تنفسة/دقيقة إلى ١٥٠-٢٠٠ إلى ٣٠٠ تنفسة/دقيقة حسب شدة الحرارة وطول فترة التعرض للحرارة.

وفى الإنسان يعتدى نسبة كبيرة من البشر على أجهزتهم التنفسية (الرئتين غالباً) بالتدخين. فالتدخين يسبب مرض إنتفاخ الرئة Emphysema وهذا المرض عبارة عن تدمير الأكياس الهوائية فى الرئتين ونتيجة لتدمير جدر هذه الأكياس الهوائية تقل مساحة مسطح للتبادل الغازى. ولا يوجد علاج لهذا المرض. والمرضى فيه يعانون من قصر الأنفاس والتعب والنهаж من أقل مجهود كذلك فهنا المرض يشكل عبء على القلب حيث يضطر القلب للعمل أكثر حتى يعوض النقص فى الأكسجين الناتج عن نقص مسطح للتبادل الغازى. لذا فإن مرضى هذا المرض ويموتون ببطء بسبب نقص كفاءة الرئتين.

بالإضافة إلى ذلك فغاز ثالى أكسيد الكبريت المنبعث من دخان السجارة يسبب شلل للأهداب الموجودة على أسطح الخلايا لطبقة المبطنة للقصبه الهوائية والمعروف ان حركة هذه الأهداب تيسر إلى أعلى وتسبب طرد المواد الغريبة ويذا فهى تعتبر خط دفاع أول. وبالتالي فالتدخين يستسر اعتداء وتدمير لخط الدفاع الأول فى الجهاز المناعى.

والتنفس Respiration يعنى ثلاثة معانى. فالمعنى الأول وهو استخدام الأكسجين فى عمليات البناء والهدم للبروتينات العضوية بالخلية وهو ما تحدثنا عنه فى الباب الرابع. والمعنى الثانى هو عملية تبادل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون (عملية التبادل الغازى) بين الكائن الحى والبيئة المحيطة به. و ما سوف نختص به بإذن الله بالشرح والتفصيل فى هذا الباب. والمعنى الثالث وهى عملية فقد الحرارة عن طريق الجهاز التنفسى Respiratory evaporation فى بعض الحشرات. وهذا يهم الدارسين لعلم التكامل الفسيولوجى للحيوانات الزراعية ومكانته هو باب التكامل الفسيولوجى والتنظيم الحرارى Thermoregulation.

وبالنسبة للمعنى الثانى وهو عملية التبادل للغازى. فالجهاز التنفسى يقوم بعملية مد الجسم بالأكسجين وتخليصه من ثانى أكسيد الكربون ولذلك فالجهاز التنفسى يعتبر أحد آليات الإتران الداخلى بالأكسجين وتخليصه من ثانى أكسيد الكربون. ولذلك فالمحافظة على مستوى ثابت من الأكسجين بالخلايا وهو بالطبع ضرورى لتمثيل الخلو وإمداد الخلية بالطاقة. هذا ويمكن تلخيص أهم وظائف الجهاز التنفسى فى الآتى :- ١- يوفر الأكسجين ٢- يقوم بطرد ثانى أكسيد الكربون ٣- ينظم تركيز أيون الأندروجين فى الدم (pH الدم) ٤- هو الذى يسبب إصدار الأصوات ٥- يعتبر جهاز دفاعى (وقائى) ضد الأجسام الغريبة والميكروبات ٦- يؤثر على تركيز الرسائل الكيميائية Chemical messengers فى الشرايين عن طريق إزالة بعضها عن طريق الشعيرات الدموية فى الرئتين (جهاز التبادل) وإضافة بعضها إلى الدم ٧- يقوم بتصيد وإزالة جلطات الدم.

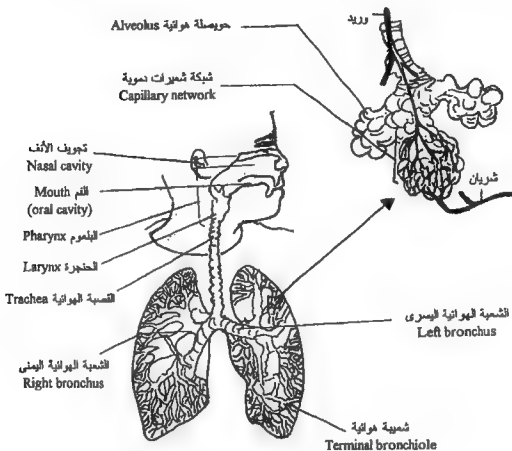
تركيب الجهاز للتنفس ونقله: Structure And Organization Of The Respiratory

System : الجهاز التنفسى يتكون من جزئين رئيسيين هما :

١- الجزء الموصل للهواء **Air Conducting Portion** : وهذا الجزء عبارة عن مجموعة من الممرات الهوائية معقدة التركيب ومحكمة الغلق من نهاياتها بالجسم والتى تقوم بنقل الهواء من الأنف والتجويف الفمى إلى الرئتين وبالعكس (شكل ١١-١). وهذه الممرات الهوائية تبدأ عند الأنف والتجويف الفمى كبيرة وتضيق كلما ابتعدنا عن الأنف والتجويف الفمى حتى تصل إلى الحويصلات الهوائية **Alveoli** (حويصلة هوائية ولحده تسمى **Alveolus**) وتحتوى الرئتين فى الإنسان البالغ على حوالى ٣٠٠ مليون من هذه الحويصلات. ويتم فى هذه الحويصلات عملية التبادل الغازى حيث يحدث تبادل بين الأكسجين وثانى أكسيد الكربون بين الهواء والدم الموجود بالشعيرات الدموية المغلفة لهذه الحويصلات.

٢- جزء تبادل الغازات **Gas-exchange Portion** : هذا الجزء هو الرئتين فى الجهاز التنفسى (شكل ١١-١) وهما فى الإنسان يتكونان من حوالى ٣٠٠ مليون حويصلة هوائية **Alveoli**

حيث تحتوي جدر هذه الحويصلات الهوائية على عديد من الشعيرات الدموية التي تمتص الأكسجين من هواء الشهيق وتطرد ثاني أكسيد الكربون ليتخلص منه الجسم مع هواء الزفير. وجدول ١-١١ يوضح ملخصاً للجهاز التنفسي.



شكل (١-١١) : الجهاز التنفسي في الإنسان ويتضح به الجزء الموصل للهواء وجزء تبادل الغازات

جدول ١-١١ : الجهاز التنفسي وأهم وظائف أعضائه المختلفة

العضو Organ	الوظيفة الرئيسية Main Function
١- الجزء الموصل للهواء Air Conducting Portion	يقوم بترشيح وتنقية وترطيب وتسخين الهواء الداخل إليه ونقله إلى البلعوم Pharynx
٢- التجويف الفمى Oral cavity	يقوم بتسخين وترطيب للهواء ونقله إلى البلعوم. كما يساعد على إصدار الأصوات

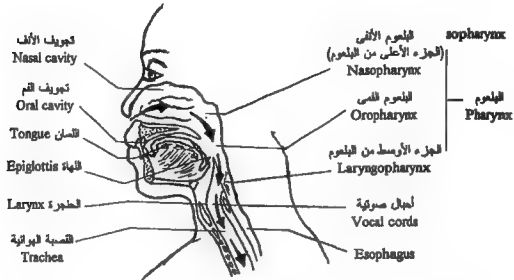
الوظيفة الرئيسية Main Function	المعضو Organ
يقوم بنقل الهواء إلى الحنجرة Larynx والحنجرة تحتوي على الأحبال الصوتية وتساعد في عملية البلع.	٣- البلعوم Pharynx
يقفل فتحة القصبة الهوائية أثناء عملية الابتلاع.	٤- اللهاة Epiglottis
تقوم بإصدار الأصوات - وتنقل الهواء إلى القصبة الهوائية - تساعد على ترشيح الهواء القادم للرئتين - كما تقوم بتسخين وترطيب الهواء القادم للرئتين.	٥- الحنجرة Larynx
تقوم بتسخين وترطيب الهواء القادم وينقله إلى الرئتين	٦- القصبة الهوائية والشعبتان Trachea and Bronchi
تنظم تدفق الهواء في الرئتين وتقوم بنقل الهواء إلى الحويصلات الهوائية	٧- الشعبات الهوائية Bronchioles
هذه توفر المساحة اللازمة لعملية تبادل الأكسجين بثاني أكسيد الكربون	ب- التبادل الغازي ١- الحويصلات الهوائية Alveoli Gas Exchange

الجزء الموصل في الجهاز التنفسي The Conducting Portion Of The Respiratory System

Respiratory System : الهواء يدخل إلى الجهاز التنفسي عن طريق الأنف Nose والפה Mouth ثم يمر إلى الخلف في اتجاه البلعوم Pharynx. (لاحظ أن البلعوم هو جزء من الجهاز التنفسي حيث يتصل من الأمام بالأنف والפה ومن أسفل بالمرئ Esophagus والحنجرة Larynx) (شكل ١١-٧). وكما ذكرنا من قبل في الجهاز الهضمي فالمرئ هو عبارة عن أنبوبة عضلية تنقل الغذاء إلى المعدة. أما الحنجرة فهي عبارة عن تركيب صلب أجوف يحتوي على الأحبال الصوتية Vocal cords وهي تساعد أيضا في عملية البلع.

والحنجرة تتصل لأسفل بالقصبة الهوائية Trachea حيث تقوم الأخيرة بنقل الهواء إلى الرئتين. والقصبة الهوائية تقع تحت فتحة آدم وهي عبارة عن أنبوبة قصيرة واسعة حيث تنقسم هذه القصبة الهوائية في التجويف الصدري إلى فرعين رئيسيين هما الشعب الهوائية Bronchi (الشعبة الهوائية اليمنى والشعبة الهوائية اليسرى). وكما ذكرنا في الجهاز الدوري فالشريابين الرئيسية تنفرع أصغر فأصغر وأيضاً نفس الشيء بالشعب الهوائية فهي عبارة عن أنابيب أصغر قليلاً من القصبة

التهوائية حيث تدخل كل أنبوبة من هذه الأنابيب إلى الرئة اليمنى والرئة اليسرى بجانب الشرايين والأوردة.



شكل (١١-٢) : دجرام يوضح مرور الهواء في الجزء العلوي من الجهاز التنفسي

ولتشعب التهوائية تنفرع تدريجياً لأصغر بدرجة كبيرة داخل الرئتين مكونة أنابيب تزداد في الصغر كلما ازداد التفرع إلى أن يصل هذا التفرع إلى الحويصلات التهوائية (شكل ١١-١). هذا ويدعم جدار القصبة الهوائية ولتشعب التهوائية بواسطة غضروف زجاجي Hyaline cartilage (راجع الفميص الغضام) حيث يمنع هذا الغضروف انهيار الأنابيب التهوائية أثناء التنفس وبالتالي فهو يضمن استمرار مرور الهواء إلى داخل وخارج الرئتين (طبعا هذه الأنابيب المتفرعة من الشعب التهوائية هي التي تحمل الهواء إلى الحويصلات التهوائية Alveoli).

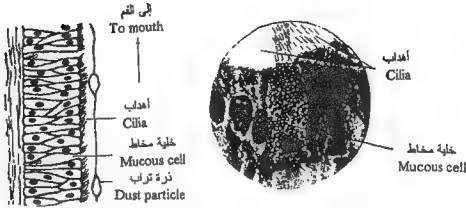
والحويصلات التهوائية عبارة عن أكياس صغيرة جدا يحدث بداخلها نقل أكسجين الهواء الجوي إلى الدم وطرد ثاني أكسيد الكربون الموجود بالدم إلى هواء الرئتين حيث يتم طرده للخارج مع هواء الزفير. وبالمضبط وكما ذكرنا سابقاً في الجهاز الدوري بالنسبة للشريينات. فالتشعيبات التهوائية تتكون معظم جدرانها من عضلات لمساء. هذه العضلات الملساء تقوم بخلق وقمع التشعيبات التهوائية، وبالتالي فهي توفر وسيلة لتنظيم سريان الهواء إلى الرئتين. فمثلاً عندما يجري الحيوان أو عندما يقوم الإنسان بعمل تكريب رياضي يقوم فيه ببذل مجهود فهذا يحتاج لكمية أكبر من الأكسجين لزيادة الإنتاج الحراري Heat production بجسم هذا الإنسان أو الحيوان. أي يلزم في هذه الحالة زيادة ورود

الهواء إلى للرئتين، ويتم ذلك عن طريق إنسباط العضلات الملساء في جدر الشعبات الهوائية حيث تفتح الأنابيب مما يؤدي إلى زيادة ورود الدم للرئتين ونصل بذلك إلى توفير كمية زائدة من الأكسجين وهذه الطريقة هي نفسها التي تحدث بالنسبة لشريكات شبكة الشعبات النموية التي تنبسط لتسمح بزيادة ورود الدم إلى أنسجة الجسم (راجع جهاز التبادل بالجهاز الدورى).

وبالإضافة إلى أن جهاز التوصيل بالجهاز التنفسي هو الذى يقوم بتوصيل الهواء للرئتين، فهو أيضاً يقوم بتسخين وترطيب وترشيع الهواء الجوى قبل وصوله للرئتين. ولذا فإن هذا الجهاز يعمل كمرشح Filter حيث يقوم بإزالة المواد الغريبة مثل ذرات الغبار والبكتريا من هواء التنفس.

الجسيمات الدقيقة المحمولة فى الهواء Airborn Particles : هذه الجسيمات أغلبها يتكون من الغبار والبكتريا. وهذه الجسيمات توجد معلقة فى الهواء الجوى بأحجام مختلفة متعددة. وفى مصر لى الفترة من ١٩٧٣ حتى ١٩٧٨ قام العالم الدكتور أحمد سعيد الشيوخ بجمع هذه الجسيمات من الهواء الجوى عن طريق تعريض ألوانى كبيرة ذات فوهات واسعة وملوّه بالماء للهواء الجوى (مشروع حماية البيئة من التلوث - مشروع علمى بالتعاون بين قسم الإنتاج الحيوانى بكلية الزراعة جامعة الأزهر والولايات المتحدة الأمريكية). وقد وجد أن هذه الجسيمات الدقيقة توجد فى الهواء فى أحجام مختلفة عديدة. فبعض هذه الجسيمات صغيرة Fine particles ويستطيع أن يتغلغل بعسق فى الرئتين. بينما الجسيمات الأكبر تترسب فى الأنف والقصبة الهوائية (يقوم بإصطوائها الغشاء المخاطى المبطن للقصبة الهوائية) وللشعبات الهوائية. وقد وجد أيضاً أن الجسيمات التي تحترق على معادن سامة مثل الزئبق قد تسبب الإنقسام السريع لخلايا الرئة (سرطان الرئة).

وهناك خطوط دفاعية بالنسبة لهذه الجسيمات. وأول هذه الخطوط هو الشعير الموجود فى التجويف الأثني فهو يقوم بحجز بعض الجسيمات الكبيرة. كما أن لتواءات الأنف الداخلية (شكل ٢-١١) تقوم بإبطاء حركة مرور الهواء مما يؤدي إلى ترسيب الجسيمات الكبيرة. هذا ويساعد على ترسيب هذه الجسيمات طبقة من المخاط توجد مبطنة للأغف والقصبة الهوائية. (لاحظ أن المخاط Mucus هو عبارة عن إفراز غروى سميك يغطى (يبطن) معظم الجهاز التنفسي من الداخل وينتج هذا المخاط من خلايا مخاطية Mucous cells توجد على طول الطبقة الطلائية المبطنة للجهاز التنفسي (شكل ٢-١١) كما ينتج بواسطة غدد مخاطية أيضاً توجد مبطنة لقنوات الجهاز التنفسي. كما يبطن القصبة الهوائية خلايا طلائية هدية Ciliated epithelial cells (راجع النسيج الطلاسى المصنف الهيدى). وهذه الأهداب تتحرك لأعلى فى إتجاه الأنف والتم حيث تنقل المخاط وما يحمله من ذرات غبار وبكتريا فى إتجاه الفم وعندما تصل قريبة من الفم وتحدث حالة السعال أو الكحة للفرد يتم طرد هذا المخاط فى صورة بلغم حيث يبتلع أو يصفق حسب الاختيار. وجدير بالذكر أن أهداب القصبة



شكل (١١-٣) : الشكل عبارة عن رسم تخطيطي لقطاع طولى فى القصبة الهوائية مبيناً إلتصاق الغبار بالطبقة المخاطية وإتجاه الأهداب إلى أصلا.

الهوائية هذه تعمل باستمرار على مدار اليوم بأكمله حيث تدفع هذا المخاط فى إتجاه تجريف الفم حيث تحمى عملية التنظيف هذه الجهاز التنفسى من البكتريا وغيرها من الذرات الدقيقة. هذا فقط فى حالة سلامة هذا الغشاء المخاطى المبطن للجهاز التنفسى.

أما فى حالة إصابة هذا الغشاء المخاطى بالمصطب الأمر الذى يؤدى إلى سهولة إختراق البكتريا لهذا الغشاء حيث تتكاثر مسببة أمراض الجهاز التنفسى.

هذا من ناحية إصابة الغشاء المخاطى. أما بالنسبة لحركة الأهداب المبطنة للقصبة الهوائية والتي تحمى أيضا الجهاز التنفسى فهذه يمكن أن يحدث لها شلل (تبقى الأهداب سسائلة ولا تتحرك) وبالتالي تزداد الحالة سوءاً. ومن العوامل المسببة لشل حركة الأهداب هو غاز ثانى أكسيد الكبريت المنبعث مع دخان السجائر أو الموجود فى هواء المدن الملوثة بهذا الغاز. فغاز ثانى أكسيد الكبريت يسبب شلل مؤقت لحركة هذه الأهداب وقد وجد أن غاز ثانى أكسيد الكبريت المنبعث من سبجارة واحدة يكفى لشل حركة هذه الأهداب لمدة ساعة من الزمن أو أكثر من ذلك. وعامل آخر وهو تآكل المضروبات الكحولية فهو يسبب شل حركة هذه الأهداب أيضاً وهذا هو السبب الرئيسى لإصابة مدمنى الكحوليات بأمراض الجهاز التنفسى بمعدلات أكثر من غيرهم. ومما هو جدير بالذكر أن حركة هذه الأهداب عند المدخنين أو مدمنى الكحوليات تشل وقت الحاجة إليها فمثلا عندما يكون الجو ملوث بالدخان أو الغبار تشل حركة هذه الأهداب عند المدخنين ومدمنى الكحوليات فى نفس الوقت الذى تستمر فيه حركة هذه الأهداب عند الأشخاص الغير مدخنين والذين لا يتناولون الكحوليات وهذا يفسر كثرة إصابة المدخنين أو الذين يشربون الخمر بأمراض الجهاز التنفسى عن غيرهم من غير المدخنين.

ويوجد أسفل الطبقة الطلائية المبطنة للثقرات للتنفسية شبكة كثيفة من الشعيرات الدموية وهذه توفر الرطوبة والحرارة حيث تقوم بترطيب وتسخين الهواء الدخول إلى الرئتين، وبالتالي فهذه البيئة تسمى الرئتين من الجفاف كما تحميهم من برودة الهواء. في ظروف الجو المادى (ماعداء الجو شديد البرودة) يدخل للهواء إلى الرئتين مشبعاً بالرطوبة وفي درجة حرارة الجسم تقريباً.

الحويصلات هي مكان تبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون :

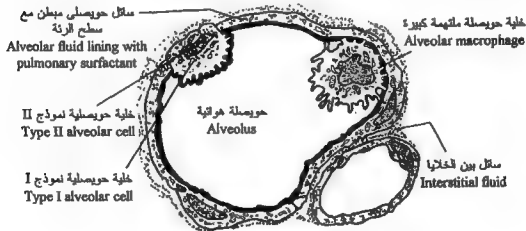
The Alveoli Are The Site Of O_2 And CO_2 Exchange :

الهواء الجوى يتكون أساساً من ٧٨% نيتروجين N_2 و ٢١% أكسجين O_2 و ٠,٩% أرجون Ar و ٠,٣% ثاني أكسيد كربون CO_2 ومن صفر - ٤% بخار ماء H_2O ونسب مختلفة من الملوثات.

ويجب أن يتوفر الأكسجين بكمية ثابتة نسبياً وكما ذكرنا من قبل فالثبات النسبى Homeostasis لنسبة الأكسجين في الجو يسببه كلا من للتنفس الحيوانى والتنفس النباتى (عملية التمثيل الضوئى) معا. والثبات النسبى لنسبة الأكسجين هذه ضرورى للمحافظة على عمليات التمثيل الغذائى فى الخلايا.

وكما ذكرنا من قبل فالهواء يصل عن طريق الجزء الموصل بالجهاز التنفسى إلى الشعيبات الهوائية ولتتى توصل الهواء إلى الحويصلات الهوائية Alveoli وتحتوى الرئتين على حوالى ٣٠٠ مليون حويصلة هوائية وهذه توفر مسطح تبادل غازى مساحته حوالى ٨٠-٦٠ متر مربع.

والحويصلة الهوائية تكون محاطة بطبقة واحدة من الخلايا المبطنة تسمى خلايا حويصلية نوع I (Type I alveolar cells) (شكل ١١-٤) وطى ذلك فسرعة وكفاءة انتشار الغازات خلال جدار



شكل (١١-٤) : رسم تخطيطى يوضح الحويصلة الهوائية والخلايا الحويصلية نوع I والخلايا الحويصلية نوع II والخلايا الملتهمه الكبيرة فى الحويصلات.

الحويصلات الهوائية يتوقف على عاملين هما كمية سمك الحاجز بين الدم وهواء الحويصلات والمساحة الكلية لمسطح التبادل في الرئتين وتوجد بالحويصلات الهوائية خلايا تسمى الخلايا الملتصقة الكبيرة ففى الحويصلات Alveolar macrophages أو قد تسمى أيضا خلايا الغبار Dust cells وهذه الخلايا تقوم بإزالة ذرات الغبار وغيرها من الجسيمات الصغيرة التي تصل إلى الرئتين (شكل ١١-٤).

كما توجد أيضا خلايا تسمى خلايا حويصلية نوع II (شكل ١١-٤) وهذه الخلايا تعمل على منع انهيار الحويصلات الهوائية. وهى عبارة عن خلايا كبيرة مستديرة تلتصق فوسفوليبيد يسمى Surfactant وهذه عبارة عن مادة كيميائية منظمة Detergent حيث تذوب فى طبقة الخلايا الرقيقة التي تبطن الحويصلات. وطبيعة مادة الـ Surfactant لها محركة لأداة ضبط الشد Tension remover ولإيضاح ذلك فإلماء للمحيط بسطح الحويصلات ينتج عنه التوتر السطحي Surface tension. ومعروف أن التوتر السطحي هو عبارة عن تألف جزيئات الماء على أسطح السوائل المحتوية على الماء ويحدث ذلك كنتيجة لوجود الروابط الهيدروجينية فى جزيء الماء. حيث تقوم هذه الروابط الهيدروجينية بجذب جزيئات الماء مع بعضها بقوة أكبر عند سطح السائل عنه فى الداخل (لاحظ أن ذلك هو التفسير لوجود قطرات الدوى على أسطح اللبابت أو على سطح زجاجي). أما بالنسبة للحويصلات الهوائية فيعمل التوتر السطحي على تكوين طبقة مائية تقوم بجذب جدر الحويصلات الهوائية للداخل، ولكن يعمل الـ Surfactant على خفض هذا التوتر السطحي وبالتالي فهو يقاتل القوى التي تسبب انهيار الحويصلات الهوائية عن طريق جذب جدرها للداخل ولذلك فالـ Surfactant تعتبر المحرك الرئيسى لأداة ضبط الشد.

وفى بعض الحالات تقلل الخلايا الحويصلية من النوع II فى إنتاج كمية كافية من الـ Surfactant كما يحدث فى حالة الأطفال المبترسين أو الذين لم يكتمل نضجهم لولادتهم قبل الميعاد Premature. وفى هذه الحالة يسبب التوتر السطحي انهيار الحويصلات الهوائية الكبيرة وبالتالي يقل مساحة مسطح التبادل وانهيار هذه الحويصلات يحدث بعد ساعات قليلة من الولادة وتسمى هذه الحالة بظاهرة أو أعراض الإجهاد التنفسي (Respiratory Distress Syndrome (RDS أو مرض الجدار (أو الغشاء) الشفاف Hyaline membrane disease ويتميز هذا المرض بصعوبة وسرعة التنفس والذي يؤدي بدوره إلى الإرهاق وإذا لم يتم العلاج والإسعاف السريع فقد تنهار الرئتين مسببة وفاة. وتتخلص طريقة إسعاف الطفل فى هذه الحالة برش رذاذ Spray مادة كيميائية شبيهة بالـ Surfactant فى رئتي المواليد المبترسة أو المولودة صغيرة للحجم قبل الموعد الطبيعي لولادتها.

الوظائف الرئيسية للجهاز التنفسي :

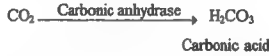
The Main Functions Of The Respiratory System :

يقوم الجهاز التنفسي بعدة وظائف رئيسية أولها هي عملية التبادل الحيوي حيث يقوم بتخليص الدم من ثاني أكسيد الكربون وترويضه بالأكسجين. كذلك فالأحبال الصوتية تنتج أصوات تسمح للناس بالتفاهم والمعرفة. كذلك فهناك طبقة طلائية مبطنة لسقف التجويف الأنفي هذه الطبقة تسمى الغشاء الشمي **Olfactory membrane** وهي تسمح للإحساس بالروائح. وكما ذكرنا من قبل فالجهاز التنفسي يساعد على الإتران الداخلي Homeostasis لتركيز أيون الهيدروجين في الدم (pH الدم) عن طريق تأثيره على مستويات ثاني أكسيد الكربون والذي يحدث أثناء عملية التبادل الحيوي. بالإضافة إلى ذلك فكما ذكرنا في مقدمة هذا الباب أن في بعض الحيوانات مثل الكلب والدجاجة والأغنام يعمل الجهاز التنفسي على تخليص الجسم من الحرارة الزائدة (يعتبر هو المسؤول عن فقد الحرارة) عن طريق التبخير من الجهاز التنفسي Respiratory evaporation .

عملية تبادل ثاني أكسيد الكربون والأكسجين في الحويصلات الهوائية : يمكن إيضاح عملية التبادل الحيوي (الأساسي) The vital exchange والتي يتم فيها إنتقال ثاني أكسيد الكربون من الدم إلى هواء الحويصلات وتحميل الدم بالأكسجين الموجود في هواء الحويصلات في النقاط التالية: -١- البطنين الأيمن من القلب يدفع الدم المحمل بثاني أكسيد الكربون إلى الرئتين -٢- في الرئتين يحرر ثاني أكسيد الكربون من الدم ويحمل الدم بالأكسجين -٣- إنتشار ثاني أكسيد الكربون والأكسجين خلال جدر الحويصلات الهوائية والشعيرات الدموية يتم بسهولة والقوة الدافعة لهذا الإنتشار هي القوة الناتجة عن الاختلاف في التركيز أو الاختلاف في الضغط الجزئي. -٤- ينتشر أولا الأكسجين في هواء الحويصلات إلى السائل بين الخلايا المحيطة بشبكة الشعيرات الدموية وهذه الحركة السريعة مسؤولة عنها الاختلاف في تركيز الأكسجين بين الحويصلة والسائل بين الخلايا -٥- بعد ذلك ينتشر الأكسجين خلال جدر الشعيرات الدموية إلى بلازما الدم -٦- من بلازما الدم يخترق الأكسجين الغشاء البلازمي لخلايا الدم الحمراء RBCs حيث ترتبط مع الهيموجلوبين في سيتوبلازم هذه الخلايا. (لاحظ أنه حوالي ٩٨% من أكسجين الدم يحمل مرتبطاً مع الهيموجلوبين في خلايا كريات الدم الحمراء وباقى ونحوه ٢% يذوب في البلازما وفي سيتوبلازم خلايا الـ RBCs). -٧- ينتقل ثاني أكسيد الكربون من الشعيرات الدموية إلى الحويصلات الهوائية (في اتجاه مضاد لإتجاه إنتقال الأكسجين). والقوة الدافعة هنا أيضا هي فرق التركيز، فتركيز ثاني أكسيد الكربون في الشعيرات الدموية أعلا قليلا من تركيزه في هواء الحويصلات.

النسور التي يحمل بها ثاني أكسيد الكربون في الدم : يحمل ثاني أكسيد الكربون في الدم فـى ثلاث صور هـى : ١- نسبة قليلة من ثاني أكسيد الكربون تـنـدـر بحوالى ٧-٨% توجد فى صورة ذائبة فى بلازما الدم. ٢- نسبة حوالى ١٥-٢٥% من ثاني أكسيد الكربون توجد مرتبطة بهيموجلوبين كريات الدم الحمراء ٣- معظم ثاني أكسيد الكربون فى الدم وهو حوالى ٦٥-٧٥% ينقل فـى الدم فـى صورة أيونات البيكربونات HCO_3^- . والآلية التي يتم بها التخلص من ثاني أكسيد الكربون الناتج من أيض الخلية تتم كما يلى :

١- يرتبط ثاني أكسيد الكربون الناتج من أيض الخلية بهيموجلوبين كريات الدم الحمراء حيث يتحول كيميائيا إلى حامض الكربونيك وينشط هذا التفاعل إنزيم يسمى كربونيك أنهيدريز كما بالمعادلة التالية:



ب- بعد ذلك تتحلل جزيئات حامض الكربونيك مكونة أيونات البيكربونات وأيونات الهيدروجين كما يلى :



ج- عند وصول الدم المحمل بثاني أكسيد الكربون إلى الرئتين تتحد أيونات الهيدروجين وأيونات البيكربونات وتعيد تكوين حامض الكربونيك كما يلى :



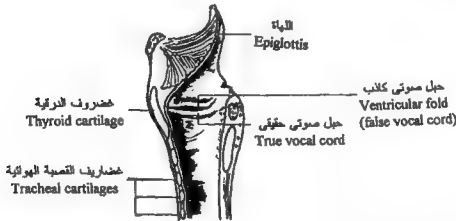
د- ثم يتحلل حامض الكربونيك إلى ثاني أكسيد كربون وماء حيث ينتشران من الدم إلى الحويصلات الهوائية ويتم ذلك طردهم من الرئتين فى هواء الزفير Exhaled air.



دور الجهاز التنفسي فى عملية إصدار الأصوات والنطق : النطق Phonation أو إصدار الأصوات Producing sounds يتميز به عدد من الأفراد المملكة الحيوانية وهو موضوع هام جدا بالنسبة للإنسان وممارسة للحياة، كما أنه هام أيضا لبعض الحيوانات الأخرى لكن دراسات هذا الموضوع فى منتهى الصعوبة ولذا سوف نكتفى بالإشارة إلى الإنسان فى هذا المضمار. فالإنسان يصدر مجال واسع ومتباين من الأصوات هذه الأصوات تنتج بصفة أساسية بواسطة الأحبال الصوتية Vocal Cords (شكل ١١-٥) وهى عبارة عن أربطة مرنة موجودة داخل الحنجرة . وتنتج هذه الأحبال الأصوات عند اهتزازها أثناء طرد الهواء من الرئتين . حيث يحدث لهذه الأصوات تحويرات عن طريق اللسان Tongue وتجويف الفم Oral cavity (بمعنى أن هذه الأصوات Sounds

تصدر بواسطة الأحبال الصوتية وتنوع إلى مدى واسع من الأصوات بواسطة وضع اللسان والتغير في شكل تجويف الفم).

والأحبال الصوتية أسك في الذكور عن الإناث ولذا فالذكور لهم صوت أعق وأجش عن الإناث. ويعتقد العلماء أن السبب في ذلك هو الهرمون الذكري التستسترون Testosterone (هذا الهرمون ينتج بصفة أساسية من الخصية في الذكور وبكميات قليلة جدا من قشرة الغدة الجاركلوية في الذكور والإناث معا). بالإضافة إلى ذلك فهناك عضلات معينة في الحنجرة تؤثر على هذه الأصوات. وهذه العضلات متصلة بالأحبال الصوتية وهي بذلك تستطيع أن تغير من قوة شد هذه الأحبال، فإثناء إنسباط (ارتخاء) هذه العضلات يقل شد الأحبال للصوتية وبذلك يخفض نبرة Tone الصوت في حين أن إنقباض هذه العضلات يسبب شد الأحبال للصوتية وبالتالي زيادة حدة الصوت.



شكل (١١-٥) : رسم تخطيطي يوضح قطاع طولي في الحنجرة يوضح موقع الأحبال الصوتية

إلتهاب الحنجرة Laryngitis : هذه الحالة تحدث كنتيجة للعدوى والإصابات البكتيرية والفيروسية حيث يصاب الغشاء الداخلي للحنجرة والأحبال الصوتية بالتهاب، كما يحدث هذا الالتهاب أيضا نتيجة تهيج الحنجرة من دخان السجائر وتناول الكحوليات والصياح الشديد والغناء بصوت مرتفع. وفي الأطفال الصغار يسبب التهاب الحنجرة حالة تسمى بالحنجرق Croup وهي عبارة عن تورم للغشاء المبطن للحنجرة حيث يعوق ذلك مرور الهواء والتنفس.

بالإضافة إلى ذلك فهناك أمراض تصيب الجهاز التنفسي Respiratory system diseases وذلك على الرغم من أن الجهاز التنفسي يوفر لنقته درجة من الحماية عن طريق الغشاء المخاطي المبطن للقنوات التنفسية والأهداب الموجودة على معظم الخلايا الطلائية المبطنة وكذلك وجود الخلايا

المتهمة في الرئتين. إلا أنه مع ذلك فالجهاز التنفسي يستمر أحد الأماكن الرئيسية في الجسم لدخول الفيروسات والبكتيريا والتي قد تتمكن من اختراق الطبقة الطلائية المبطنه للقنوات التنفسية وتدخل إلى الأنسجة التي تقع أسفلها حيث تتكاثر في هذه الطبقة ومن أمثلة ذلك هو فيروس الأنفلونزا الذي يستقر في الخلايا المبطنه للقنوات التنفسية.

وهناك حالات أخرى تنتشر فيها البكتيريا والفيروسات والكائنات الدقيقة الأخرى من الجهاز التنفسي إلى أماكن أخرى حيث تصيب أعضاء أو أجهزة أخرى بالجسم ومن الأمثلة على ذلك هو مرض الإلتهاب السحلي *Meningitis* وهذا المرض ناتج عن إصابة بكتيرية أو فيروسية في المخ. وكذلك فالعدوى البكتيرية أو الفيروسية للجهاز التنفسي تسبب في بعض الأحيان أمراض كثيرة وقد تكون (ولكن في أحيان قليلة) مميتة. وأمراض الجهاز التنفسي تسمى حسب مواقع حدوثها فمثلا إصابة الجيوب الأنفية تسمى *Sinusitis* والمصطلح الأخير يعني إلتهاب الجيب وهو منسوب إلى كلمة *Sinus* بمعنى جيب، وأيضا فإصابة الشعبات الهوائية تسمى *Bronchitis* وهو منسوب إلى كلمة *Bronch* أو *Broncho* ومعناها الشعبى.

مرض الربو *Asthma* : مرض للربو مرض مزمن غير معدى وهو من امراض الجهاز التنفسي الشائعة والتي تصيب أعداد كبيرة نسبيا. يتميز هذا المرض بحدوث أعراض دورية من الحشجة وصعوبة للتنفس (هذا المرض كما ذكرنا من قبل له إيقاع بيولوجى *Biological rhythm* فنوبات الربو تأتى مساء وتختفى في الصباح غالباً).

وسبب هذا المرض في معظم الأحوال هو تفاعلات الحساسية *Allergic reactions* وهى عبارة عن تفاعلات مناعية *Immune reactions* غير طبيعية لمنشطات متوافرة في الجو مثل الغبار وحبوب اللقاح وخلايا جلد الحيوانات الأليفة. بالإضافة إلى ذلك قد تحدث نوبات الربو كنتيجة لتناول أنواع معينة من الأغذية مثل البيض واللبن والشيكولاته وبعض الكيماويات التى تضاف للأغذية المحفوظة بغرض حفظها. كما أن الإسراف في تناول الأدوية والمجهود العنيف مع بعض الضغوط النفسية والفسيولوجية قد تكون أحد العوامل المسببة لحدوث مرض الربو.

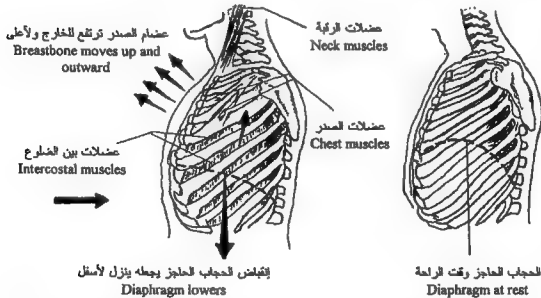
ومريض الربو في حالة تعرضه لبعض المهيجات مثل حبوب اللقاح وخلايا جلد الحيوانات الأليفة أو الغبار تحدث عنده زيادة سريعة في إنتاج المخاط *Mucus* بواسطة الشعب والشعبات الهوائية ويصعب عليه التنفس في هذه الحالة. كذلك فإن هذه المهيجات يمكن أن تنشط إنقباض خلايا العضلات الملساء في جدر الشعبات الهوائية وبذلك يصبح الأمر أكثر صعوبة بالنسبة لإنتقال الهواء إلى داخل وخارج الرئتين (عناية للتنفس نفسها) ومرض الربو ينتشر في الأطفال في الأصغر الصغيرة لكن يختفى غالبا مع تقدمهم في العمر. ولذلك فمعظم المصابين بهذا المرض من كبار السن.

ويمكن تخفيف حدة نوبات الربو باستخدام رشاشه (رذاذ) Spray بها هرمون الإيبنفرين Epinephrine وهى أكثر الطرق شيوعا حيث يرش رذاذ هرمون الإيبنفرين فى اللقم ويصل عن طريق الشهييق إلى الشعبات الهوائية حيث يعمل على إنباسها.

ميكانيكية وتنظيم للتنفس

ميكانيكية التنفس Mechanics Of Breathing : التنفس عموما عملية لاإرادية يتم تنظيمها عن طريق الجهاز المصبنى. ولقاء التنفس يجب أن يدخل الهواء أولا إلى الرئتين وتسمى هذه العملية بالشهييق **Inspiration or inhalation** ويعقب عملية الشهييق هذه خروج الهواء من الرئتين (طرد للهواء من الرئتين) وتسمى هذه العملية بالزفير **Expiration or exhalation**.

وعملية الشهييق **Inhalation** تبدأ بنمضة عصبية من مركز التنفس **Breathing center** بالمخ لونه عضلات للتنفس **Muscles of inspiration** والحجاب الحاجز وعضلات بين الضلوع **Intercostal muscles**. فإقباض عضلات بين الضلوع يسبب تحريك القفص الصدرى للخارج وإلى أعلا (شكل ١١-٦) وإقباض الحجاب الحاجز **Diaphragm** يسبب تحويل شكله من شكل القبه إلى الشكل المسطح وبذلك يزداد حجم تجويف الصدر **Thoracic cavity** وبالتالي يقل الضغط داخل الرئتين **Intrapulmonary pressure**. وبالتالي يدخل الهواء إلى الرئتين عن طريق الأنف والقم.



شكل (١١-٦): يوضح عملية الشهييق والزفير فى الإنسان فإقباض العضلات بين الضلوع تسبب رفع القفص الصدرى للأمام ولأعلى، وإقباض الحجاب الحاجز يحوله من شكل القبه إلى الشكل المسطح وبالتالي يزداد حجم التجويف الصدرى مع نقص الضغط داخل الرئتين فيدخل الهواء.

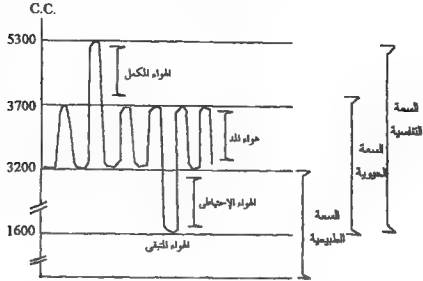
أما عملية الزفير Exhalation : تبدأ بانقباض عصبية من مركز التنفس كتنظيم رجعى حيث يقوم بإيقاف تنبيه عضلات الشهيق - كما تنبسط عضلات بين الضلوع ويهبط القفص الصدرى لموضعه (شكل ٦-١١). كما يرتخى (ينبسط) الحجاب الحاجز ويأخذ شكل القبة مرة ثانية كما ترتد الرئتين حيث تلعب دوراً هاماً فى عملية الزفير. فالرئتين تحتويان على عديد من الألياف النسيج الضام المرنة والتي تماثل عدد إمتلائها بالهوليين ممتلئين حيث تركد الرئتين عند توقف الشهيق وبالتالي يدفع الهواء إلى خارج الرئتين.

أحجام هواء التنفس :

يقسم حجم الهواء الذى يمكن تنفسه سواء فى شهيق عادى أو شهيق قسرى أو فى زفير عادى أو زفير قسرى إلى عدة أحجام هى :
١- حجم هواء المد أو الهواء العادى Tidal air volume وهو حجم الهواء المأخوذ فى شهيق أو زفير عادى وقت الراحة (شكل ٧-١١) ويقدر بحوالى ٥٠٠ سم^٣ فى الإنسان المستريح والبترة الطوب للرافدة ٣١٠٠ سم^٣ وللحصان ٦٠٠٠ سم^٣.
٢- حجم الهواء المكمل Complementary air volume : وهو حجم للهواء الممكن شبيهه بأعق ما يمكن (شهيق قسرى) بعد شهيق عادى (شكل ٧-١١) ويتم ذلك عن طريق الانقباض القسرى لعضلات الشهيق حيث بتوفير قوة إنقباض أكبر يمكن للثرد زيادة كمية الهواء للدخلة إلى الرئتين. ويبلغ حجم هذا الهواء فى الإنسان حوالى ١٦٠٠ سم^٣ وفى الحصان ١٢٠٠٠ سم^٣. وعادة ما يقوم الرياضيون بعمل شهيق قسرى قبل ممارسة النشاط الرياضى كالمسابقة أو الجرى مثلاً لتوفير كمية أكبر من الأكسجين، لكن هذا قد يسبب خطورة أيضاً.
٣- حجم الهواء الإحتياطى Supplemental air volume وهو الهواء الذى يمكن زفيره (إخراجه) بأعق ما يمكن بعد زفير عادى (شكل ٧-١١) ويبلغ فى الإنسان حوالى ١٦٠٠ سم^٣ وفى الحصان حوالى ١٢٠٠٠ سم^٣. ويمكن زيادة كمية الزفير (زفير قسرى) بمساعدة عضلات إضافية والتي تجعل الزفير عملية نشطة حيث يطرد الهواء من الرئتين أثناء الزفير القسرى بواسطة إنقباض العضلات فى جدران البطن والمصدر. وإنقباض عضلات البطن تزيد الضغط داخل البطن وتضغط أعضاء البطن إلى أعلا ضد الحجاب الحاجز، كما أن إنقباض عضلات جدار الصدر يسبب نقص حجم للمصدر ويطرد الهواء للخارج.
٤- حجم الهواء المتبقى Residual air volume : وهو الهواء المتبقى فى الرئتين بعد الزفير القسرى شكل ٧-١١ ويقدر فى الإنسان بحوالى ١٦٠٠ سم^٣ وفى الحصان بـ ١٢٠٠٠ سم^٣.

- السعة التنفسية : وهى تساوى مجموع حجم هواء المد والإحتياطى والمكمل (شكل ٧-١١).
- السعة الحيوية : وهى تساوى مجموع حجم الهواء الإحتياطى وهواء المد (شكل ٧-١١).

• السعة التنفسية : وهي تساوى مجموع حجم الهواء الإحتياطى والمتبقى (شكل ١١-٧)



شكل (١١-٧) : الشكل يوضح الأحجام التقريبية للتنفس فى الإنسان. هواء المد (٥٠٠ سم^٣) والهواء المكمل (١٦٠٠ سم^٣) والهواء الإحتياطى (١٦٠٠ سم^٣) والهواء المتبقى (١٦٠٠ سم^٣) كما يوضح السعة الطبيعية (٣٢٠٠ سم^٣) والسعة الحورية (١٢٠٠ سم^٣) والسعة التنفسية (٢٧٠٠ سم^٣).

تنظيم التنفس The Control Of Respiration : التنفس ينظم أساسا بواسطة المخ Brain

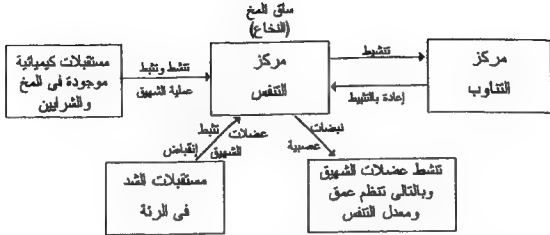
كما أنه يتكثر أيضا وينظم عن طريق مواد كيميائية موجودة فى سوائل الجسم ولذلك فالتنفس يتم تنظيمه عن طريقين أ- تنظيم عصبى ب- تنظيم كىماوى.

أ- التنظيم العصبى للتنفس Neural Control Of Breathing : تنظيم التنفس يتم عن

طريق مركز تنظيم التنفس Breathing control center والموجود فى منطقة فى المخ تسمى مساق المخ Brain stem ومن مركز تنظيم التنفس ترسل خلايا عصبية معينة نبضات دورية تنشط إنقباض عضلات بين الضلوع والحجاب الحاجز (شكل ١١-٨) والتي تسبب الشهيق. وبعد إملاء الرئتين تتوقف هذه النبضات العصبية ليمد ارتخاء (إبساط) العضلات السابقة (عضلات الشهيق).

وهناك عدة آليات مسؤولة عن إنهاء النبضات العصبية المسببة للشهيق وهى:

١- التغذية (التكليم) للرجعى المبالغ Negative feedback حيث يرسل مركز التنفس فى مساق المخ نبضات عصبية إلى الحجاب الحاجز والعضلات بين الضلوع وفى نفس الوقت يرسل نبضات أخرى إلى مركز تناوب قريب موجود بالمخ أيضا Relay center in medulla وهذا المركز يعيد النبضات



شكل (١١-٨) : الشكل يوضح طريقة لتنظيم العصبى للتنفس

العصبية إلى مركز التنفس بساق المخ ويظهره (شكل ١١-٨) وبذا يسبب إرتخاء (إنبساط) عضلات الشهيق.

٢- هناك مناطق أخرى موجودة بساق المخ هذه المناطق تستقبل نبضات عصبية من مستقبلات كيميائية موجودة بالمخ وفي بعض الشرايين المعينة. وهذه المستقبلات الكيميائية سريعة التأثير والإحساس بتركيز ثاني أكسيد الكربون في الدم وأيضا لتركيز بعض الكيمويات بالدم وبالتالي فهذه المستقبلات تسبب زيادة معدل وعمق التنفس كنتيجة لزيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الدم (شكل ١١-٨).

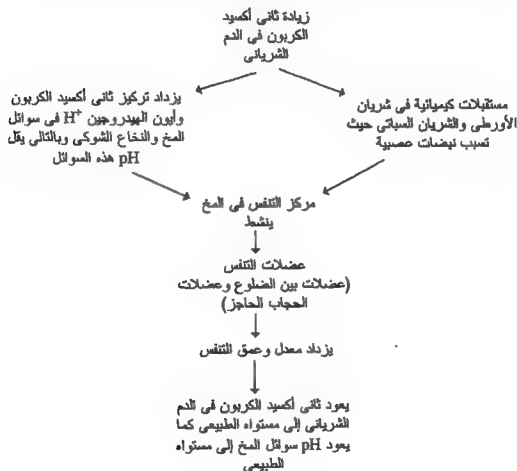
٣- هناك تنظيم (أو تلقىم رجعى) آخر يتكون من ألياف عصبية حسية موجودة بالمرتتين وعندما تشد هذه الألياف عند إمتلاء المرتتين فإنها ترسل نبضات عصبية إلى مركز التنفس لتنبط إنبساط عضلات التنفس وتسبب إنبساطها. لكن هذه الألياف العصبية الحسية تعمل غالبا عند بذل المجهود أو للجرى أو أى شئ يسبب إمتلاء المرتتين بدرجة كبيرة.

وأي عامل يؤثر على تدمير مركز التنفس Breathing center بساق المخ Brain stem أو الأعصاب التي تنقل النبضات العصبية إلى عضلات التنفس فهو يوقف التنفس من هذه العوامل فيروم شلل الأطفال أو إصابة الرأس عند ساق المخ مثلما يحدث عند تعليق فرد في حبل المشنقة مثلا فالذى يتم في هذه الحالة هو تدمير ساق المخ وبالتالي يتوقف التنفس وحتى لو تم فك الحبل بسرعة فلا يمكن الإنقاذ في هذه الحالة لأنه تم فعلا تدمير مركز التنفس بالمخ.

ب- التنظيم الكيمائى للتنفس : Chemical Control Of Breathing : هناك ثلاث

كيمائيات بالدم تؤثر على التنفس. هذه الكيمائيات هي ثانى اكسيد الكربون وأيونات الهيدروجين والاكسجين.

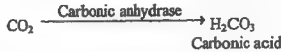
ثانى اكسيد الكربون كمُنظم كيمائى للتنفس : يعتبر ثانى اكسيد الكربون أنشط وأقوى منظم للتنفس. ومستقبلات ثانى اكسيد الكربون الخاصة بالتنفس توجد فى شرايين معينة مثل شريان الأورطى والشريان السباتى Aorta and carotid arteries وهذه الشرايين تقوم بنقل الدم إلى المخ حيث ترسل نبضات عصبية لمركز التنفس Breathing center (شكل ١١-٩) كنتيجة لزيادة مستوى ثانى اكسيد الكربون حيث تقوم هذه المستقبلات عند زيادة مستويات ثانى اكسيد الكربون بتوليد نبضات



شكل (١١-٩) : الشكل يوضح للتنظيم الكيمائى للتنفس ويتضح من الشكل أن ثانى اكسيد الكربون وأيون الهيدروجين يعتبران المنظمان الكيمائيان الرئيسيان لسمية التنفس.

عصبية تنقل إلى مركز التنفس والذي يسبب بدوره إنقباض عضلات التنفس (عضلات بين الضلوع وعضلات الحجاب الحاجز) مما يسبب زيادة معدلات وعمق التنفس. والعكس صحيح، أى يحدث العكس عند انخفاض مستوى ثنائي أكسيد الكربون.

أيون الهيدروجين H^+ كنظم كيميائي للتنفس : ينتشر ثنائي أكسيد الكربون في سوائل للنخاع الشوكي والمخ (Cerebrospinal fluids (CSF). وسوائل المخ والنخاع الشوكي عبارة عن سوائل شفافة توجد مغلفة للنخاع الشوكي وفي تجاويف المخ والتي تسمى البطينات Ventricles وفي هذه السوائل يتحول ثنائي أكسيد الكربون إلى حمض الكربونيك طبقاً للمعادلة التالية :



ثم يتحلل حمض الكربونيك إلى أيونات الهيدروجين H^+ وأيونات البيكربونات HCO_3^- طبقاً للمعادلة التالية :



وبالتالى فزيادة تركيز ثنائي أكسيد الكربون في سوائل المخ والنخاع الشوكي تؤدي إلى زيادة تركيز أيون الهيدروجين H^+ ، وزيادة تركيز أيون الهيدروجين هذه تؤثر على المستقبلات الكيميائية بالمخ Chemoreceptors حيث تقوم الأخيرة بإرسال نبضات عصبية Nerve impulses إلى مركز التنفس بمساق المخ ويقوم الأخير بإرسال نبضات عصبية تسبب إنقباض عضلات التنفس مما يزيد معدل وعمق التنفس (شكل ١١-٩).

الأكسجين كنظم كيميائي للتنفس : هناك مجموعة ثالثة من أجهزة الإحساس والتي تحثو على مستقبلات الأكسجين Oxygen receptors والمعروف أن حساسية هذه المستقبلات أقل من حساسية مستقبلات أيون الهيدروجين H^+ . وجدير بالذكر أنه عند ترتيب الكيمائيلت المنظمة للتنفس من ناحية قوتها نجد أن قوتها هو ثنائي أكسيد الكربون يليه في ذلك أيون الهيدروجين ثم أنضعفهم وهو الأكسجين. ولذلك فلكي تبدأ مستقبلات الأكسجين في توليد نبضات عصبية فهي تحتاج إلى انخفاض مستوى الأكسجين في الدم بدرجة كبيرة، حيث أن هذه المستقبلات لا تتأثر بانخفاض مستوى الأكسجين بكمية قليلة. ولهذه المعلومة تطبيق هام وخطورة أيضاً فبعض الغطاسين (السباحين) يقوم بأخذ عدة أنفاس عميقة لعمل تهوية زائدة للرئتين Hyperventilation وهذا يؤدي إلى نقص مستوى ثنائي أكسيد الكربون وأيون الهيدروجين في سوائل المخ والنخاع الشوكي مما يقلل رغبة الغطاس في

للتنفس وعندما يقوم هذا السباح بالغطس لفترة أطول من اللازم ينخفض مستوى الأكسجين في مسوئل
المخ والنخاع للشوكى لكن هذا الإنخفاض لا يكون كافيا ليطويه الإحساس بضرورة التنفس ليخرج من
الماء، وبالتالي يمكن في هذه الحالة أن يفقد الغطاس الوعى كنتيجة لعدم توافر أكسجين كافى للمخ
ولذلك فهو يظل يفقد الوعى لفترة طويلة حتى يصل تركيز أيون الهيدروجين H^+ إلى المستوى المناسب
لتنشيط صملوة للتنفس.

مما سبق يتضح لنا أنه أثناء التدريبات الرياضية والمجهود الجسمانى تقوم الخلايا بإنتاج طاقة
وكللى أكسيد الكربون. وزيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون هذه تسبب زيادة معدلات وعمق التنفس
وبالتالى توافر كمية أكبر من الأكسجين للخلايا مع التخلص من ثانى أكسيد الكربون لذلك
للمستقبلات الكيميائية تسمح للجسم بتنظيم للتنفس تبعا لحاجة الخلايا حيث أثناء المجهود العنيف أو
التدريبات الرياضية يزداد إنتاج الطاقة بالخلاية لمقابلة حاجة الجسم من الطاقة.

الباب الثاني عشر

الجهاز البولي

The Urinary System

مقدمة Introduction : كنتيجة لعمليات البناء والهدم للخلوى تنتج خلايا الجسم كميات هائلة من الفضلات هذه الفضلات يتم التخلص منها عن طريق الإخراج Excretion والجدول التالي (جدول ١٢-١) يوضح أهم نواتج الهدم المتابولية وأماكن إخراجها من الجسم.

جدول (١٢-١) : أهم نواتج هدم الأيض للخلوى وأماكن إخراجها من الجسم.

مكان إخراجها	مصدره	نواتج عمليات الأيض
الكلىتين	عملية تزع مجموعة الأمين من الأحماض الأمينية	الأمونيا
الجلد والكلىتين	هى عبارة عن إتحداد جزيئين أمونيا مع ثاى لكسيد الكربون ويتم ذلك فى الكبد	اليوريا
الكلىتين	هدم النيوكليوتيدات	حمض اليوريك
يخرج من الكبد إلى الأمعاء الدقيقة	تكسير الهيموجلوبين فى الكبد	صبغات الصفراء
الكلىتين	تكسير الهيموجلوبين فى الكبد	يوروبوروم
الرئة	تكسير الجلوكوز فى الخلايا	ثاى أكسيد الكربون
الكلىتين والجلد والرئة	الماء والغذاء بالإضافة إلى الماء الناتج من تكسير الجلوكوز	الماء
الكلىتين والغدد العرقية	الماء والغذاء	الأيونات الغير عضوية (اليسست نواتج عمليات أيض)

ويلاحظ فى الجدول السابق أن الأيونات ليست نواتج عمليات أيض Metabolism ولكنها تفرز من الجسم حتى يستديم مستواها الطبيعى فى الجسم ولا تحدث به زيادة.

وبالنظر للجدول السابق ١٢-١ نجد أن الكلىتين تعتبران من أكثر الأعضاء أهمية حيث أنها تخلص الجسم من عدة مخلفات ذائبة. وبالتالي فالكلىتان تلعبان دورا رئيسيا فى تنظيم التباات النسبى للتركيب الكيميائى للدم. حيث أن الكلىتان تعالج الدم بإزالة مواد منه وفى حالات قليلة قد تضيق مواد إليه وفى أثناء ذلك تودى الكلىتان عدة وظائف مختلفة.

وظائف الكليتين Functions Of The Kidneys : تؤدي الكليتين عديد من الوظائف أهمها:

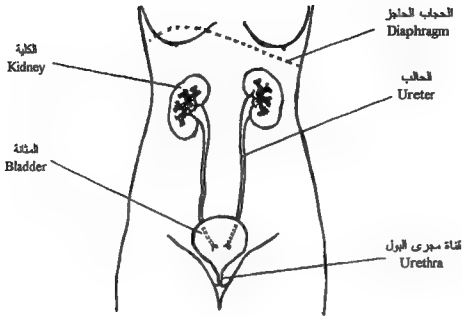
١- تنظيم إيزان الماء والأملاح والخير عضوية. حيث تقوم الكليتين بتنظيم محتوى الجسم من الماء والأملاح وحموضة الجسم. حيث تعمل الكليتان على إخراج بعض المواد الذائبة الزائدة عن حاجة الجسم وبالتالي تبقى تركيزات هذه المواد طبيعية في السوائل الخارج خلوية ٢- سحب مخلفات الأيض الغذائي من الدم وطردعا عن طريق البول ٣- سحب المواد الكيميائية الغريبة من الدم (كالعقاقير وبعض المبيدات الحشرية وبعض الكماويات التي تضاف أحيانا للأغذية بغرض حفظها) وإخراجها عن طريق البول. ٤- الكليتين يعملان أيضا كغدد صماء حيث تقوم بإفراز بعض الهرمونات وهي:

١- هرمون الـ **Erythropoietin** وقد سبق أن تحدثنا عنه في الجزء الخاص بكريات الدم الحمراء حيث يتحكم هذا الهرمون في إنتاج كريات الدم الحمراء. ٢- هرمون الزنهن والبعض يطلق عليه إيزيم الزنهن أيضا وهو الذي يتحكم في إنتاج الـ **Angiotensin** وسوف نتناوله بالتفصيل في هذا الباب بإذن الله. ٣- الصورة النشطة من فيتامين د **1,25 Dihydroxyvitamin D3** وأصل هذه الصورة هو مادة تسمى 7-dehydrocholesterol هي الصورة الغير قابلة للإستفادة من فيتامين د وتوجد تحت الجلد وفي الأغنية وتحول بأشعة الشمس الفوق بنفسجية U.V. إلى فيتامين د **Vitamin D3** وهي الصورة القابلة للإستفادة من فيتامين D وهذه تذهب إلى الكبد عن طريق الدم فيحولها إلى **25 hydroxyvitamin D3** وهذه تذهب إلى الكلية عن طريق الدم فتحولها إلى **1,25 Dihydroxyvitamin D3** وهذه الصورة الأخيرة هي الصورة النشطة وهي عبارة عن هرمون إسترويدي **Steroid hormone** حيث تصل إلى خلايا الأمعاء وتنشط DNA هذه الخلايا لتخليق نوعين من البروتينات هما **ATPase & Calcium binding protein** وبالتالي فهي لها علاقة بالإيزان الداخلي لأيون الكالسيوم **Calcium homeostasis** حيث تنشط إمتصاصه في الدم.

٥- عملية تكوين سكر من مواد غير كربوهيدراتيه **Gluconeogenesis** فعندما يتعرض الإنسان أو الحيوان لفترات الصيام الطويل تقوم الكليتين بتخليق سكر الجلوكوز من الأحماض الأمينية ونواتج دم الدهون. وجدير بالذكر أن الكليتين يكملن إمداد الدم بكميات من الجلوكوز مساوية لتلك التي يقوم الكبد بتخليقها خلال تلك الأوقات.

تركيب الجهاز البولي Structure Of The Urinary System : الجهاز البولي يتكون

من الكليتين **Kidneys** ويتصل بهما الحالبين **Ureters** والليذان يفتحان في المثانة **Urinary bladder** والتي تفتح في قناة مجرى البول **Urethra** (شكل ١٢-١).



شكل (١٢-١) : الشكل يوضح الجهاز البولي في المرأة ويتضح أنه أن البول يتكون بواسطة الكليتين ويتدفق إلى المثانة من خلال الحالبين. والمثانة تتصل بقناة مجرى البول. ويلاحظ أنه في الرجل تمتد قناة مجرى البول تمر من خلال القضيب.

والكليتان تقعان على الجدار الظهري للتجويف البطني. (يلاحظ أنهما لا تقعان داخل التجويف البطني حيث تقعان تحت البريتون Peritoneum المخلف لتجويف البطن). وتقع الكليتين على جانبي العمود الفقري وتحاط بالدهن وتقع في مكان مرتفع في الجدار البطني الخلفي تحت الحجاب الحاجز. وحجم الكلية في الإنسان مماثل لحجم قبضة اليد. وهي في الشكل تماثل شكل حبة الفاصوليا فهي بيضاوية الشكل منبعدة قليلا في أحد جوانبها (شكل ١٢-١).

ومصدر الدم الوارد للكليتين هو شريان الأورطي البطني Abdominal aorta الذي يتفرع إلى فروع رئيسية وهي الشرايين الكلوية Renal arteries وهذه الشرايين الكلوية تدخل الكلية من عند المنطقة المنبعدة (سرة الكلية Hilus). وفي داخل الكلية يتم ترشيح معظم الفضلات الموجودة في الدم حيث تزال في البول وبعد تمام ترشيح الدم يترك الدم للكلية عن طريق الأوردة الكلوية Renal veins والتي تصب في الوريد الأجوف السفلي. ووحدات الترشيح في الكلية دقيقة وعددها كبير جدا وتسمى النفرونات Nephrons وهذه النفرونات تقوم بترشيح الدم وإزالة الفضلات الذاتية مثل الأيونات غير

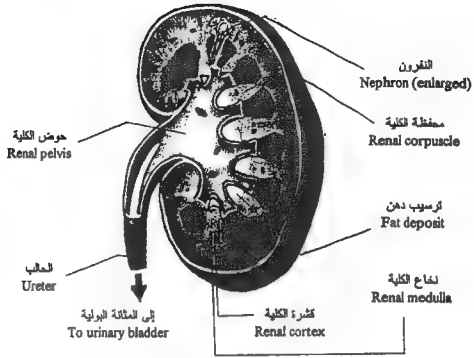
العضوية واليوربا وكميات قليلة من الجلوكوز والهرمونات والأيونات... الخ من المواد الكيميائية الغير مرغوب بقاءها بالجسم حيث يتم إخراج كل هذه المواد في البول Urine والذي يخرج من الكليتين عن طريق الحالبين Ureters (شكل ١٢-١). والحالبين عبارة عن أنابيب عضلية تنقل البول إلى المثانة البولية Urinary bladder. وجدر الحالبين تحتوى على عضلات لمساء هذه العضلات تقسوم بعمل إنقباضات لاإرادية حيث تحدث إنقباضات دودية مثل تلك الموجود في الجهاز الهضمي حيث تعمل هذه الإنقباضات على تدفق البول على طول الحالبين وتوصيله للمثانة. وكما ذكرنا من قبل فجدار المثانة يتكون من نسج ثلاثي إنتقالي وإذا فهو قابل للتمدد كما أنه يحتوى على طبقة مميكة من العضلات الملساء والتي تنقبض عند إمتلاء المثانة بالبول. أى أن المثانة تعمل كوعاء لتخزين البول لحين تفرغه إلى خارج الجسم عن طريق قناة مجرى البول Urethra (شكل ١٢-١).

وطول قناة مجرى البول في المرأة حوالى ٤سم وفي الرجل حوالى ١٥-٢٠سم وطبعا زيادة طول قناة مجرى البول في الرجال راجعة لأنها تمر في قضيب الرجل. أما بالنسبة للنساء فتقصر قناة مجرى البول بسبب سهولة الإصابة بالبكتريا حيث تصل البكتريا بعد مسافة قريبة للمثانة البولية ولذا يجب عند إصابة المثانة في الإناث سرعة استخدام المضادات الحيوية حيث إذا لم تعالج يمكن أن تصل العدوى للكليتين وتتمز النيفرونات بها.

تركيب الكلية Structure Of The Kidney : يحيط بالكلية من الخارج نسج ضام رقيق يسمى محفظة الكلية Renal capsule. وتنقسم الكلية من الداخل إلى منطقتين متميزتين وهما قشرة الكلية Renal cortex وهى موجودة للخارج ونخاع الكلية Renal medulla وهو المنطقة الداخلية عقب القشرة (شكل ١٢-٢). ويتكون نخاع الكلية من تراكيب مخروطية للشكل تسمى أهرامات الكلية Renal Pyramids ويتخلل هذه الأهرامات نسج يسمى أعمدة للكلية Renal columns. وأهرامات الكلية تحتوى على أنابيب صغيرة تصب في حوض الكلية Renal Pelvis حيث يصب في هذا الحوض البول Urine ويتصل هذا الحوض بالحالب (شكل ١٢-٢) والآخر يتصل بالمثانة.

وتتكون كل كلية من حوالى ١-٢ مليون وحدة وظيفية تسمى الأنابيب البولية أو الوحدات البولية أو النيفرونات Nephrons وهذه النيفرونات ترتبط مع بعضها بنسج ضام يحتوى على كلا من الأوعية الدموية والأوعية الليمفاوية والأعصاب.

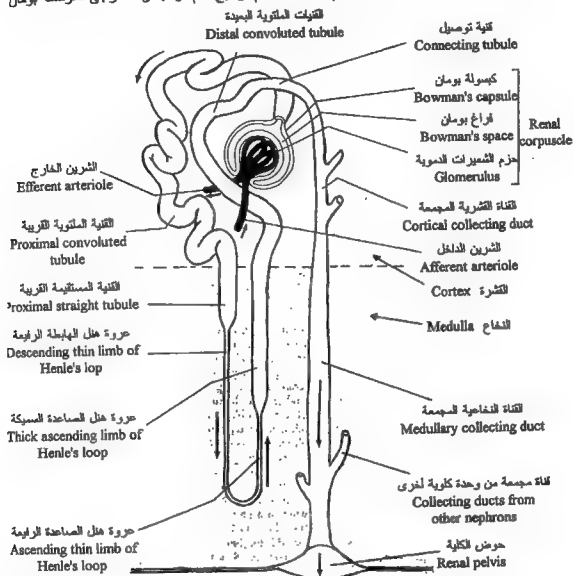
تركيب الوحدة البولية Structure Of The Nephron : يتكون النيفرون من حزمة من الشعيرات الدموية تسمى Glomerulus (شكل ١٢-٣) ومن الأنابيب الكلوية Renal tubule وهى عبارة عن أنبوبة طويلة ملتوية تتكون من أربع أجزاء هى : ١- حوصلة بومان



شكل (١٢-٢) : رسم تشريحي لطول في كلية الإنسان يوضح فيه محفظة الكلية وقشرة الكلية ونخاع الكلية وحوض الكلية وإتصال الحالب بحوض الكلية.

٢- Bowman's capsule - الأنبوبة الملتوية القريبة Proximal convoluted tubule - عروة Henle Loop - الأنبوبة الملتوية البعيدة Distal convoluted tubule (شكل ١٢-٣). وهذا التركيب يوائم الوظيفة المطلوبة حيث تقوم هذه النفرونات بترشيح كميات كبيرة من الدم. ويصل هذا الدم الشرياني إلى الكلية عن طريق الشريان الكلوي Renal artery والذي يتفرع داخل الكلية إلى أصغر فأسفر من الشريكات والتي تسمى بالشريكات الداخله Afferent arterioles (شكل ١٢-٣) وهذه للشريكات توصل الدم إلى حزمة الشعيرات الدموية المتصلة والتي تسمى Glomerulus (شكل ١٢-٣). وتوجد هذه الحزمة داخل حوصلة مجوفة تسمى حوصلة بومان Bowman's capsule. وحوصلة بومان وحزمة الشعيرات الدموية المتصلة Glomerulus يكونان معاً الجسميئة أو الكبسولة الكلوية Renal corpuscle (شكل ١٢-٤). وحوصلة بومان عبارة عن تركيب مزدوج الجدار يحيط بحزمة الشعيرات الدموية المتصلة Glomerulus. والجدار الداخلي لحوصلة بومان ينطبق بإحكام على الـ Glomerulus وينفصل عن الجدار الخارجى بمسافة صغيرة

(على الجانب المواجه لموقع دخول الشريان الداخل) وتسمى هذه المسافة بمسافة أو فراغ بومان Bowman's space (شكل ١٢-٤٤) والذي إليه يتم ترشيح الدم. والجدار الخارجى لحوصلة بومان



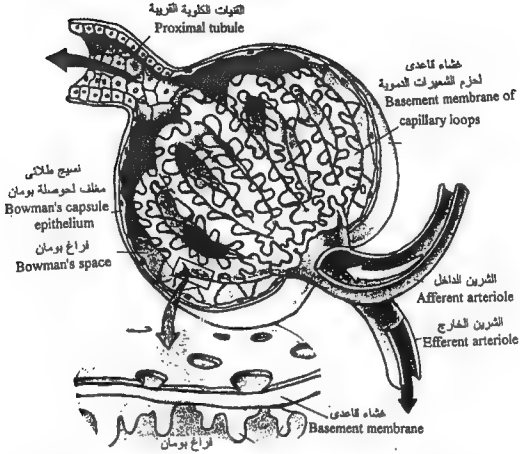
شكل (١٢-٤٤) : رسم تخطيطي يوضح التركيب الأساسي للكلية

يتصل بالجزء الثاني من الأنبوبة الكلوية وهو جزء متخرج من الأنبوبة الكلوية وهو الأنبوبة المتلوية القريبة (شكل ١٢-٤٤).

والدم الموجود بالجسم أو الكبيرة للكلوية يكون مفصولا عن الراشح الموجود بفراغ حوصلة بومان بثلاث طبقات من الخلايا (شكل ١٢-٤٤) هي : ١- صف واحد من الخلايا الطلائية التي تبطن الشعيرات الدموية Endothelium - ٢- صف واحد من الخلايا الطلائية Epithelium المبطن

لحوصلة بومان ٣- طبقة من البروتينات وهي طبقة ليست خلوية وتكون الغشاء القاعدي الموجود بين الـ Endothelium والـ Epithelium. والخلايا الطلائية الموجودة بهذه المنطقة (خلايا الطبقة الداخلية لحوصلة بومان) عالية التفرع وتحيط بالشعيرات الدموية للحزمة Glomerulus وتسمى خلايا ذات أقدام Podocytes (شكل ١٢-٤) حيث بها زوائد عديدة تشبه الأقدام منقسمة في الغشاء القاعدي وبذا فهي تختلف عن الخلايا الطلائية المبطنه لبالي حوصلة بومان. ولإيضاح علاقة خلايا الطبقة الداخلية بحوصلة بومان مع الشعيرات الدموية فسي الحزمة Glomerulus فيمكننا تصور الشعيرات الدموية في الحزمة على أنها قنطرة من البلاستيك وعند لف اليدين حول هذه القنطرة مع تشابه الأصابع فإنها تمثل الخلايا ذات الأقدام حيث تشبه الأصابع الزوائد أو الأقدام المتفرعة من هذه الخلايا. والشقوق الطولية التي توجد بين الأصابع تمثل الشقوق الطولية الموجودة بين أقدام هذه الخلايا وهذه الشقوق تكون حاجز طبيعي يمنع للجزيئات الكبيرة مثل بروتينات الدم من دخول فراغ (أو مسافة) حوصلة بومان Bowman's space (شكل ١٢-٤). ويمضي آخر فإن الفتحات الموجود في الشعيرات الدموية للحزمة والشقوق الطولية التي تقوم بالترويض Filtration slits تسمح بمرور الماء والأيونات وكثير من الجزيئات الصغيرة والمتوسطة الحجم لكنها تمنع مرور خلايا الدم ومعظم بروتينات الدم إلا في حالة حدوث عدوى بالكلية فهذه العدوى يمكن أن تمر جدر الشعيرات الدموية والغشاء الداخلي لحوصلة بومان مما يسمح بمرور خلايا الدم والبروتينات إلى الأنثوية الكلوية حيث تظهر بعد ذلك في البول، لذلك فظهور الدم في البول يدل على وجود عدوى في الجهاز البولي أو حصرة في الكلية أو مجرى البول ونعود مرة أخرى للجدار الخارجى لحوصلة بومان وكما ذكرنا من قبل فهو يتصل بالجزء الثاني من الأنثوية الكلوية وهي الأنثوية الملتوية القريبة (شكل ١٢-٤٤٣). أى يتصل تجويف الأنثوية الكلوية بفراغ حوصلة بومان. وهذه الأنثوية الكلوية تتكون بكامل طولها من صف واحد من الخلايا الطلائية المرتكز على غشاء قاعدي. وهذه الأنثوية تتكون من ١-١٢ قطعة مختلفة. لكنها تقسم وظيفيا إلى عدد أقل ولذلك فيمكن تقسيم الأنثوية الكلوية (شكل ١٢-٣) إلى : -

١- الأنثوية القريبة Proximal tubule وسميت القريبة من حيث موقعها بالنسبة لحوصلة بومان وهذه الأنثوية يصب فيها الراشح الموجود بحوصلة بومان وتتكون من جزئين ١- الأنثوية الملتوية القريبة Proximal convoluted tubule ب- الأنثوية المستقيمة القريبة Proximal strait tubule (شكل ١٢-٣). ٢- عروة (لوخة) Henle Loop وهي على شكل حرف U. فالأنثوية الكلوية تبدأ بالجزء المتعرج والذي يستقيم بعد ذلك ثم يهبط إلى أسفل ومنه إلى أعلا مرة أخرى مكونه هذا الجزء على شكل حرف U. وبالتالي فعروة هنلي تتكون من ١- فرع نازل



شكل (١٢-٤) : الشكل يوضح التركيب التشريحي للجسمية أو الكلية Renal corpuscle. والشكل السفلى يوضح قطاع عرضي لأغشية الكلية الثلاثة وهم الطبقة الطلائية المبطننة الشعيرات الدموية والغشاء القاعدي وطبقة الخلايا الطلائية ذات الزوائد أو الأقدام.

Descending limb وهو متصل بالأنبوبة القريبة ب- وفرع يساعد Ascending limb والذي يؤدي في بعض النيفرونات (النيفرونات قصيرة الخية) إلى نخاع الكلية وفي بعض النيفرونات الأخرى (وهي الوحدات المبرولة أو النيفرونات طويلة الخية) فهو يصب في القطعة التالية من الأنبوبة الكلوية وهي الأنبوبة المتلوية البعيدة Distal convoluted tubule وهي جزء ملئوى آخر. وتصب كل أنبوبة بعيدة في سلسلة مستقيمة من الأنابيب والتي تسمى بالأنابيب المجمعة Collecting tubules والتي تتحد مع بعضها وتكون أنابيب أكبر وتصب في حوض الكلية (شكل ١٢-٣). ويجدر الإشارة أن النظام السابق وهو نظام القنوات المجمعة Collecting duct system يبدأ بالأنبوبة الرابطة Connecting tubule (شكل ١٢-٣) والتي يليها القناة المجمعة القشرية Cortical collecting duct

(شكل ٣-١٢) يالها القناة المجمة للنخاعة Medullary collecting duct. وكل وحدة بولية (نيفرون Nephron) ابتداء من حوصلة يومان حتى الأليبيب الرابطة Connecting tubules عبارة عن وحدات (Nephrons) مستقلة تماماً عن باقي الوحدات (النيفرونات). لكنها تتصل بعد ذلك عندما تتحد الأليبيب لتكوين القناة المجمة القشرية Cortical collecting duct أما الإتحادات التي تلى ذلك فهي تجعل البول يصب في حوض الكلية بواسطة عدة مئات فقط من القنوات للمجمة للنخاعة الكبيرة (لاحظ أن الكلية تحتوي على أكثر من مليون وحدة بولية وهي النيفرون). عموماً فالنيفرونات تقوم بترشيح كميات كبيرة من الدم يومياً حيث تنتج يومياً كميات تتراوح بين واحد وإثنين أو ثلاثة لترات أو أكثر من البول وتختلف هذه الكميات تبعاً لكمية السوائل المشروبة ودرجة حرارة الجو ... الخ.

ملاحظات عامة على تركيب الكلية : ١- قشرة الكلية Renal cortex تحتوى على كل الجسيمات (الكبيبات) الكلوية Renal corpuscles بينما تمتد عروات هنلى Loop of henle فى القشرة لمسامات مختلفة حيث تدخل أيضاً فى نخاع الكلية Renal medulla الذى يوجد فيه أيضاً القنوات المجمة للبول Collecting ducts (شكل ٣-١٢) ٢- الوحدات الكلوية القريبة من النخاع Juxtamedullary nephron تقع كبيباتها (جسيماتها Corpuscles) عند الحد الفاصل بين قشرة الكلية ونخاع الكلية وتكون ذات خيات طويلة تمتد خلال طول نخاع الكلية بالكامل. ٣- الشعيرات الدموية بكل Renal corpuscle تتحد لتكون شريان خارج Efferent arteriol والذى يعتبر بديل عن الوريد والذى عن طريقه يترك الدم الجسيمة (أو الكبيبة) الكلوية. ٤- فرع عروة هنلى المساعد قرب نهايته يمر بين الشريان الداخلى والشريان الخارج ويلامسهما (شكل ٣-١٢) وعند نقطة التلامس هذه يوجد بروش من الخلايا يسمى بالبقعة الكثيفة Macula densa. وفى منطقة التلامس هذه يحتوى جدار الشريان الداخلى Afferent arteriole على خلايا إفرازية تسمى الخلايا الملتصقة للكبيبة Juxtaglomerular (JG) cells وهذه الخلايا هى التى تقوم بإفراز هرمون الرينين Renin hormone. وإتحاد أو تجمع البقعة الكثيفة Macula densa والخلايا الملتصقة للكبيبة JG cells مما يسببان بالجهاز الملتصق للكبيبة Juxtaglomerular apparatus.

وظائف النيفرون The Functions Of The Nephron : تكوين الكلية للبول

يحدث من خلال ثلاث خطوات فى النافرون هي: ١- الترشيح فى حزمة الشعيرات الدموية ٢- إعادة الامتصاص فى الأليبيب ٣- الإفراز فى الأليبيب.

١- الترشيح فى حزمة الشعيرات الدموية (الجسيمات أو الكبيبات) Glomerular

Filtration : الخطوة الأولى فى تكوين البول هو الترشيح من حزمة الشعيرات الدموية وذلك عن

طريق للتدفق الكلى للبلازما الخالية من البروتين (حركة السوائل والمواد الذاتية) من حزمة الشعيرات الدموية ومرورا بالأغشية الثلاثة السابق ذكرها (Endothelium, basement membrane and epithelium) إلى فراغ حوصلة بومان. وكما سبق أن ذكرنا فالدم يدخل للكلية عن طريق الشريان الكلوي ويتفرع هذا الشريان أصغر فأصغر إلى شريكات وهي التي تمد حزم الشعيرات الدموية (الكبيبة) لكل حزمة من هذه الحزم بمدى شريان داخل Afferent arteriole حيث يمر الدم من هذا الشريان الداخل إلى شبكة غزيرة للتفرع من الشعيرات الدموية لدخل كل حزمة وهي تشبه في شكلها عدة خيوط متشابكة مع بعضها حيث في ذلك الوقت تدفع معظم البلازما ما عدا البروتينات إلى خارج هذه الشعيرات الدموية في فراغ حوصلة بومان عن طريق ضغط الدم والسائل الناتج في فراغ حوصلة بومان يسمى برانش الحزمة Glomerular Filtrate. والقوى المسببة لهذا الترشيح والذي يتم بواسطة التدفق الكلى Bulk flow تشمل -١- ضغط الدم بالشعيرات الدموية بالكبيبات : Glomerular Capillary Blood Pressure (PGC) : وهو يشجع الترشيح كنتيجة لأنه أعلى من ضغط الدم في باقي الشعيرات الدموية والسبب في ذلك هو كبر قطر الشريكات الكلوية الداخلة مما يؤدي إلى نقل الضغط بها إلى الشعيرات صغيرة القطر وبالتالي يزداد ضغط الدم بالشعيرات.

كما تشمل هذه القوى أيضا القوى المعارضة للترشيح وهي : -٢- ضغط السوائل بفراغ حوصلة بومان فكلما إزداد هذا الضغط كلما قلت معدلات الترشيح ب- القوة الاسموزية لبروتينات البلازما وهذه القوة ترجع لوجود البروتينات في البلازما مع عدم وجودها في حوصلة بومان (لاحظ أننا ذكرنا أن البروتينات لا تمر من الشعيرات الدموية إلى حوصلة بومان) ونتيجة لذلك فتركيز الماء يكون أعلى في فراغ حوصلة بومان عنه في الشعيرات الدموية وبالتالي يمر الماء مع بعض الجزيئات الصغيرة من فراغ حوصلة بومان إلى الشعيرات الدموية.

نعود مرة أخرى إلى السائل الموجود بفراغ حوصلة بومان والمسمى برانش الحزم Glomerular filtrate والذي يحتوي على كل المواد الموجودة بالبلازما فيما عدا البروتينات. والسبب في عدم احتوائه على البروتينات ليس فقط كبر حجم جزيء البروتين حيث لا يسمح كبر حجمه بالمرور خلال الأغشية، ولكن يرجع أيضا لسبب آخر وهو أن للقوى التي يمر منها الراشح عبر أغشية الكبيبات سالبية الشحنة ولذا تعوق حركة البروتينات سالبة الشحنة أيضا (كنتيجة للتنافر بينهما). ولاحظ أيضا أن أغشية الكبيبات تمنع أيضا مرور خلايا الدم إلى فراغ حوصلة بومان أيضا. بالإضافة إلى ذلك فبعض الجزيئات صغيرة الحجم والمرتبطة بالبروتين يسمب مرورها أيضا ومثالا لذلك ففوسف الكالسيوم الدم وكل الأحماض الدهنية المرتبطة بالبروتينات لا يتم ترشيحها أيضا.

ويجدر الإشارة هنا أن صلبة الترشيح في حزمة الشعيرات الدموية هى صلبة ميكانيكية. ويشترط في المواد التي تمر من الدم إلى فراغ حوصلة بومان أن تكون صغيرة بدرجة كافية تسمح لها بالمرور خلال الثقوب في حاجز حزمة الشعيرات Glomerular sieve والذي يتكون من الثلاث طبقات السابق ذكرهم. والشعيرات الدموية بالحزمة عالية المسامية لذا فهي تسمح بسهولة خروج السوائل المحتوية على عديد من المواد الذائبة. ولذا فهذه الشعيرات بالحزمة تحتوى على عديد من الثقوب (الثغرات أو النوافذ) والتي تسمح بمرور الجزيئات الكبيرة نسبيا. لكنها كما ذكرنا لا تسمح بمرور خلايا الدم والصفائح الدموية وبروتينات الدم.

ولتصور العلاقة بين الشعيرات الدموية وحوصلة بومان يمكن تخيل بسالون منفوخة بدرجة متوسطة وهى تمثل حوصلة بومان وهذا البالون ممشوك بأحد اليدين، وقبضة اليد الثانية تمثل حزمة الشعيرات Glomerulus فعند دفع قبضة اليد في البالون فإن الطبقة المحيطة مباشرة بقبضة اليد فى البالون تمثل الطبقة الداخلية لحوصلة بومان. وهذه الطبقة تكون منفصلة عن الطبقة الخارجية لنفس الحوصلة. ولذلك فالترشح يجب أن يمر من الشعيرات الدموية والطبقة الداخلية لحوصلة بومان.

ويجب التنويه هنا إلى أن البول الذى يصل في النهاية إلى حوض الكلية تمهيدا لخروجه يكون مختلف تماما عن رشح الحزم وذلك لأن تركيب هذا البول يتغير خلال عمليتي إعادة الامتصاص من الأنابيب والإفراز إلى الأنابيب كما سنوضحه بإذن الله فيما يلي:

معدل الترشيح من الجسمات (الكبيبات): (Glomerular Filtration Rate (GFR :

يعرف هذا المعدل بأنه عبارة عن حجم السائل الذى يتم ترشيحه من حزمة الشعيرات الدموية Glomerulus إلى فراغ (مسافة) حوصلة بومان في وحدة معينة من الزمن. وهذا المعدل يبلغ ١٢٥ سم^٣/دقيقة (يعادل ١٨٠ لتر/يوم). ولو علمنا أن حجم بلازما الدم في الإنسان يساوى تقريبا ٣ لتر لثبتنا أن كل بلازما الدم يعاد ترشيحها حوالي ٦٠ مرة يوميا. وحزمة الشعيرات الدموية Glomerulus أكثر نفاذية عن أى شعيرات دموية أخرى بالجسم والتي ترشح جميعها ٤ لتر يوميا. والكمية الكلية التي يتم ترشيحها من أى مادة غير بروتينية أو غير مرتبطة مع بروتين يمكن قياسها بالمعادلة التالية :

الكمية الكلية التي يتم ترشيحها للمادة = معدل الترشيح اليومي \times تركيز هذه المادة

والكمية الكلية التي يتم ترشيحها للمادة يطلق عليها Filtered load ومثالا لذلك لو أن تركيز

سكر الجلوكوز في الدم ١٠٠ ملجم/١٠٠مل بلازما (يعادل ١ جم/لتر). فيكون :

الكمية الكلية التي يتم ترشيحها للجلوكوز = ١٨٠ لتر/يوم \times ١ جم/لتر = ١٨٠ جم/يوم أى أن

الكمية الكلية التي يتم ترشيحها للجلوكوز يوميا تساوى ١٨٠ جرام ومن معرفة هذا الرقم ومقارنته

بكمية الجلوكوز المخرجة في البول يمكن لنا معرفة حالة إعادة الامتصاص أو إعادة الإفرارز للجلوكوز. ولذلك فعموما يمكن بمعرفة الكمية الكلية المرشحة من أى مادة ومقارنتها بكميتها التى تم إخراجها فسى البول معرفة حالات إعادة الامتصاص للصافى أو إعادة الإفرارز الصافى بواسطة الأنابيب الكلوية (أى هل حدثت هذه الحالات أم لم تحدث).

٢ .. إعادة الامتصاص من الأنابيب الكلوية **Tubular Reabsorption** : كما ذكرنا من قبل أن كمية الراشح اليومي عن طريق حزمة الشعيرات الدموية إلى فراغ بومان يعادل حوالى ١٨٠ لتر، هذا بالرغم من أن الكلية تخرج كمية تقدر بحوالى ١-٣ لتر بول فى اليوم فقط أى أنه حوالى ١-١٥% فقط من الراشح يخرج من الكلية فى صورة بول. أما معظم السائل الذى يرشح بواسطة حزمة الشعيرات الدموية فيعاد امتصاصه حيث يعود من الأنابيب الكلوية مرة أخرى إلى مجرى الدم ويمكن البهره على حدوث إعادة الامتصاص من الأنابيب **Tubular Reabsorption** بالنظر إلى الجدول التالى (جدول ١٢-٢) والذى يوضح أن كثير من المواد التى يتم ترشيحها عبر حزمة الشعيرات الدموية قد لا تظهر فى البول أو تظهر بكميات أقل من تلك التى تم ترشيحها.

جدول (١٢-٢) : جدول يوضح متوسط قيم بعض المكونات التى تم ترشيحها وأعيد امتصاصها

المادة	الكمية المرشحة باليوم	الكمية التى خرجت من الجسم فى اليوم	النسبة المئوية للمئوية للامتصاص
الماء والمثلتر	١٨٠ لتر	١,٨ لتر	٩٩
الصوديوم	٦٣٠ جم	٣,٢ جم	٩٩,٥
الجلوكوز	١٨٠ جم	صفر	١٠٠
اليوريا	٥٤ جم	٣٠ جم	٤٤

ويتضح من الجدول السابق أن الكميات المرشحة كبيرة جدا وتعادل عدة أضعاف كمياتها بالجسم فى بعض الحالات فمثلا الماء الكلى بجسم الإنسان متوسط الوزن حوالى ٤٠ لتر لكن للكمية اليومية المرشحة هى ١٨٠ لتر أى أكثر من أربع أضعاف ومعنى ذلك أن ماء الجسم يعاد ترشيحه أكثر من أربع مرات يوميا.

كما يتضح أيضا أن إعادة امتصاص نواتج الهضم غير كامل نسبيا فمثلا اليوريا أعيد امتصاص ٤٤% منها بينما الـ ٥٦% الباقية خرجت مع الكميات المرشحة من الكلية.

وهناك ظاهرة ثالثة تتضح من الجدول السابق (جدول ١٢-٢) وهى أن معظم المواد النافعة للجسم والتى تم ترشيحها يعاد امتصاصها بالكامل تقريبا فمثلا أعيد امتصاص سكر الجلوكوز بالكامل كما أن هناك إعادة امتصاص كاملة نسبيا للماء والأمونيت والمواد العضوية. وخلاصة القول أن كمية

المواد التي تخرج في البول تمثل نسبة صغيرة جدا من المواد المرشحة. وخلال عملية إعادة الإمتصاص في الأنابيب Tubular reabsorption يمر الماء المحتوى على العناصر الغذائية والأيونات إلى شبكة من الشعيرات الدموية والتي تحيط بكل نيفرون وتسمى الشعيرات المحيطة بالأنابيب Peritubular capillaries والتي تقوم بإعادة إمتصاص الماء والعناصر الغذائية مثل سكر الجلوكوز والأيونات المختلفة مثل الصوديوم والتي رشت من الدم في حزمة الشعيرات الدموية. مع ملاحظة أنه لا يعاد إمتصاص المواد الضارة بالجسم حيث تمر إلى الأنابيب المجمعة وتخرج مباشرة في البول Urine.

وعملية إعادة الإمتصاص بواسطة الأنابيب الكلوية قد تكون خاضعة للتنظيم الفسيولوجي وقد تكون في حالات أخرى غير خاضعة للتنظيم الفسيولوجي. لإعادة الإمتصاص الخاضع للتنظيم الفسيولوجي مثل إعادة إمتصاص الماء وكثير من الأيونات. فبعد شرب كمية كبيرة من الماء يقل إعادة إمتصاص الماء من الأنابيب الكلوية لذلك يبدأ إفراج للماء الزائد من الجسم في البول بعد حوالي نصف ساعة ويحود الإتران المائي في الجسم بعد حوالي ١-٢ ساعة. أما عملية إعادة إمتصاص الماء الغير خاضعة للتنظيم الفسيولوجي مثل معدلات إمتصاص الجلوكوز والتي تكون عالية دائما (وغالبا في الأشخاص الطبيعيين لا تظهر أي تركيزات من الجلوكوز في البول) ولذلك فلهذا الدور المكثف في هذه الحالة هو المحافظة على التركيزات المناسبة لهذه المواد بهلازما للدم. ويجب العلم أن تركيزات هذه المواد بهلازما الدم تخضع للتنظيم الهرموني Hormonal regulation أيضا. وملخص القول أن عملية إعادة الإمتصاص تحافظ على الثبات النسبي Homeostasis للتركيزات الطبيعية في الدم من الماء والأيونات. كما تحافظ على المواد الذائبة المختلفة من عناصر غذائية.

وإعادة الإمتصاص عن طريق الأنابيب الكلوية Tubular reabsorption يتم بعدة طرق، فكمية بسيطة نسبيا يتم إعادة إمتصاصها عن طريق التدفق الكلي Bulk flow حيث يتدفق الماء والمواد ذات الوزن الجزيئي الصغير معا عبر الخلايا الطلائية لهذه الأنابيب، لكن النسبة الأكبر لإعادة الإمتصاص تتم عن طريقين وهما الانتشار Diffusion ونظم النقل عن طريق وسيط Mediated transport.

إعادة الإمتصاص عن طريق الانتشار Reabsorption by diffusion : هي طريقة من طرق إعادة الإمتصاص السالب Passive reabsorption بواسطة الانتشار ولتأخذ اليوريا Urea كمثال لإعادة الإمتصاص عن طريق الانتشار.

فلأن أغشية الكبيبة Corpuscular membranes ترشح اليوريا بحرية تامة فتجد أن تركيز اليوريا في فراغ حوصلة بومان مساو لتركيزها في البلازما. لكن بعد إعادة إمتصاص الماء من

الأنابيب المتوتبة القريبة Proximal convoluted tubules يرتفع تركيز اليوريا بالرائح فى فراغ الحوصلة عنه فى الشعيرات الدموية المحيطة بالأنابيب، وبالتالي تنتشر اليوريا متدفقة بفرق قوة التركيز من تجويف الأنابيب إلى الشعيرات الدموية المحيطة بها. وتقدر كمية اليوريا التي تعود إلى الدم عن طريق إعادة الإمتصاص بحوالى ٥٠% من كمية اليوريا التي تم ترشيحها أولا بفراغ حوصلة بومان.

و. 'بة إعادة الإمتصاص تحدث فى معظم أجزاء الأنبوبة الكلوية لكن معظم هذه العملية يحدث

فى 'بوية المتوتبة القريبة Proximal convoluted tubule والتي يحدث بها إعادة إمتصاص حوالى ٧٥% من الكمية الكلية لأيونات الصوديوم والماء والأنبوبة المتوتبة القريبة يتم بها أيضا إعادة إمتصاص أيونات الكالسيوم وجزيئات الجلوكوز والفيتامينات وأيضا الكميات القليلة من بروتينات البلازما والتي تكون قد دخلت فراغ بومان عن طريق الترشيح من حزمة الشعيرات الدموية. وأثناء النقل النشط Active transport لأيونات الصوديوم الموجبة الشحنة إلى خارج الأنبيب فإنه ينقل معها الأيونات سالبة الشحنة مثل الكلوريدات وغيرها. وزيادة تركيز الأيونات فى السائل خارج الخلايا Extracellular fluid (ECF) يسبب لانتقال جزيئات الماء إلى الخارج عن طريق الخاصية الأسمونية (راجع مرور الجزيئات عبر أغشية الخلايا باب الخلية). واليات إعادة الإمتصاص النشط المحدد Limited transport mechanisms معظمها له حدود تسمى بالحد الأقصى للنقل Transport maximum (Tm). ويعرف الحد الأقصى للنقل Tm بأنها أقصى كمية من المادة يستطيع نقلها فى زمن معين وذلك بسبب أن البروتينات المسؤولة عن النقل تصبح مشبعة. ومثالا لذلك فالشخص السليم لا يوجد فى بوله سكر حيث يعاد إمتصاص كل الجلوكوز عن طريق الإمتصاص النشط ، أما بالنسبة لمرضى البول السكرى فسكر الجلوكوز يخرج فى البول حيث أن الكمية المرشحة من الجلوكوز تكون أكبر من الحد الأقصى لنقل Transport maximum الجلوكوز. وهذا المثال ينطبق على معظم الفيتامينات القابلة للذوبان فى الماء والأحماض الأمينية Amino acids.

ويصعب الدم الآتى من الشعيرات الدموية المحيطة بالأنابيب فى وريدات والتي تتحد لتكون أكبر فأكبر حتى تكون وريد الكلية وهذا الوريد يحمل الدم الذى تم ترشيحه إلى خارج الكلية ويصعب فى الوريد الأجوف السفلى.

٢- الإفراز فى الأنبيب Tubular Secretion : هذه العملية يتم بها إستكمال التخلص من الفضلات التي لم يتم ترشيحها من حزمة الشعيرات إلى فراغ حوصلة بومان فى عملية الترشيح الأولى. فالفضلات التي لم يتم إزالتها من الدم أثناء الترشيح من حزمة الشعيرات تدخل إلى الشعيرات الدموية المحيطة بالأنابيب الكلية وتنقل هذه الفضلات بعد ذلك إلى الأنابيب الكلوية. وبالتالي فهناك مسلكين

للتخلص من الفضلات، للمسلك الأول وهو الترشيع من حزمة الشعيرات الدموية بالكليات (الجسيمات) والمسلك الثاني هو إفراز المواد من الشعيرات الدموية المحيطة بالأنابيب إلى تجويف الأنابيب. وأهم الإفرازات التي يتم نقلها إلى الراشح البولي عن طريق مسلك الإفراز في الأنابيب الكلوية هي أيونات الهيدروجين والبوتاسيوم والتي لم تفرش خلال عملية الترشيع من حزم الشعيرات الدموية في الكبيبات. وتتم عملية الإفراز بأن تنتشر أيونات الهيدروجين والبوتاسيوم من الأوعية الدموية في شبكة الشعيرات المحيطة بالأنابيب إلى المسالك بين الخلايا المحيط بها، ومن هذا المسالك تنتقل الفضلات نقلا نشطا إلى الأوعية الكلوية. كما أن للكلية القدرة على إفراز عدد كبير من الأيونات العضوية Organic ions وهذه الأيونات العضوية قد تكون نواتج عمليات الميتابولزم مثل الكولين والكرياتينين Choline and creatinine وقد تكون أيضا كيماويات غريبة عن الجسم مثل البنسلين Pencillin وكيماويات أخرى.

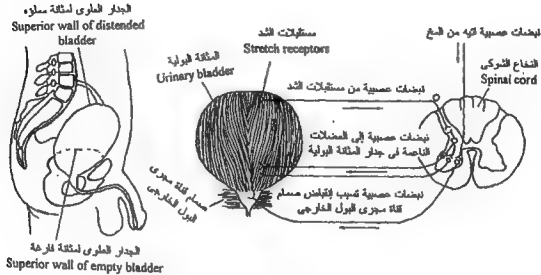
ومعظم الإفراز يحدث في الأنابيب الكلوية البعيدة لكن يحدث بعض الإفراز في الأنابيب الكلوية القريبة أيضا. وأهمية الإفراز في الأنابيب الكلوية ترجع إلى أنه يساعد الجسم على تنظيم أيون الأيدروجين وبالتالي فهو يساعد على المحافظة على ثابت pH الدم.

وهناك عمليات ميتابولزمية تحدث بواسطة الأنابيب الكلوية Metabolism by the tubules وهذه لها أهمية كبيرة بالنسبة لمواد كثيرة. فخلايا الأنابيب الكلوية تستطيع تخليق مواد معينة ثم تصفيها للمسالك الموجودة بتجريفها وتخرجها. ومثالا لذلك فإنه لمنع تراكم أيونات الهيدروجين بالأنابيب الكلوية فإن بعض خلايا الأنابيب تنتج أمونيا NH_3 وهذه الأمونيا تنتشر إلى الأنابيب الكلوية وتتحد مع أيونات الهيدروجين مكونة أيونات الأمونيوم $Amonium\ ions$. كما تستطيع أيضا خلايا الأنابيب هدم مواد عضوية معينة مثل الببتيدات التي تصل إلى هذه الخلايا من تجويف الأوعية الكلوية أو من الشعيرات الدموية المحيطة بها. وهذا الهدم يؤدي إلى إزالة هذه المواد من الجسم أو بمفهوم آخر يزيل أثر هذه المواد كما لو كان تم إزالتها في البول.

التبول : للتحكم في الفعل الإيمكسلى : Urination (Or Micturition) :

Reflex : يتصل الحالبين بالجدار الخلفي للمثانة بزاوية مائلة قليلا. ويتم دفع البول خلال الحالبين إلى المثانة عن طريق انقباض العضلات للمساء الموجودة بجدار الحالب. وعند امتلاء المثانة بالبول تنقبض جدرانها لتأخير البول وفي نفس الوقت تنقبض العضلات للمساء بها فتسبب غلق نهايات الحالبين عند اتصالهم بالمثانة وبذلك تمنع عودة البول إلى الخلف. والمثانة عبارة عن غرفة تشبه البالون ويوجد بجدار المثانة مجموعة عضلات لمساء تسمى ككل بالـ **Detrusor muscle** وانقباض هذه العضلات هو الذي يخرج البول الموجود في المثانة محدثا للتبول Urination.

والمثانة البولية تمثل تدرجياً والبول حيث تتمدد جدرانها وتصبح رقيقة (شكل ١٢-٥) (لاحظ أن جدر المثانة تتكون من نسج طلاى إنتقالى). والسبب فى منع تسرب البول من قناة مجرى البول



شكل (١٢-٥) : للشكل يوضح حسية للبول فى الأطفال أ- المثانة قبل وبعد إمتلائها موضعاً إلى أى مدى يمكن تمسدد هذا المنع لاحتوى كميات كبيرة من البول ب- تمدد المثانة البولية وشد المستقبلات العصبية بها يجعلها ترسل إشارات إلى النخاع الشوكى ولذى يرسل بدوره نضبات عصبية تعود مرة أخرى إلى الخلايا العصبية بجدر المثانة وتعملها تنقبض لتفريغ محتوياتها من البول. أما فى الكبار (غير موجود بالشكل) للنخاع الشوكى يرسل نضبات للمخ ولذى يرسل بدوره نضبات عصبية للمصام الخارجى لوتسرع إذا كان الوقت والمكان مناسبين للبول.

أثناء إفراز البول فى المثانة هو وجود صمامين (شكل ١٢-٥) والصمام الأول هو صمام قناة مجرى البول الداخلى **Internal urethral sphincter** وهو بوابة لاإرادية ويتكون من عضلات ملساء عند بدء قناة مجرى البول وحيط بطق المثانة (أى هو يحيط بفتق المثانة عند بدء إتصالها بقناة مجرى البول). والصمام الثانى هو صمام قناة مجرى البول الخارجى **External urethral sphincter** وهو عبارة عن شريط مسطح من العضلات الهيكلية التى تحيط قناة مجرى البول. وهذا الصمام عبارة عن بوابة إرادية تنظم عن طريق المخ. وإقباض هذا الصمام يوقف التبول حتى ولو كانت عضلات

للمثانة Detrsor muscle منقبضة بقوة. أما عند إرتفاع كلا من المصامين الداخلى والخارجى فيطرد البول إلى قناة مجرى البول ومنها إلى خارج الجسم.

وعملية للتبول عبارة عن فعل إنعكسى شوكى موضعى Local spinal reflex تؤثر عليه للمرات العصبية النازلة من المخ Descending pathways from the brain. فعند تجمع البول فى المثانة البولية (٢٠٠-٣٠٠ سم^٣ بول فى حالة الإنسان مثلا) يتمدد جدار المثانة ويحدث به نوع من الشد وبالتالي تبدأ مستقبلات الشد Stretch receptors فى جدار المثانة بإرسال نبضات عصبية إلى الحبل الشوكى Spinal cord عن طريق الأعصاب. والذى يرسل بدوره نبضات عصبية على إمتداد الأعصاب التى تتكوى عند خلايا العضلات للمصاء فى جدار المثانة البولية. وهذا التنبيه هو عبارة عن تنبيه عن وجود بول داخل المثانة بالجسم ويجب التعامل معه لإخراجه. وهذا التنبيه العصبى ينشط إنقباض عضلات جدار المثانة Detrsor muscle كذلك ينشط إرتقاء العضلات للمصاء بمصام قناة مجرى البول الداخلى لكن البول لا يخرج من الجسم إلا بعد إرتقاء العضلة الهيكلية الإرادية لمصام قناة مجرى البول الخارجى. وبالتالي فلا يخرج البول إلا بعد فتح مصام قناة مجرى البول الخارجى والتحكم فى هذا المصام تحكم إرادى لذا يمكن للأطفال بعد عمر ٢,٥ إلى ٣ سنة والكبار عدم التبول والإنتظار لحين توفر الوقت والمكان المناسبين. وتمتأل المثانة فى الكبار حتى يصل حجم البول ٨٠٠ سم^٣ بعد ذلك يكون الإنتظار مؤلما.

أما بالنسبة للأطفال أقل من ٢,٥ سنة فلا يوجد عندهم تحكم إرادى فى عملية التبول. والتبول هنا عبارة عن فعل إنعكسى تماما حيث يحدث التبول لا إراديا عند إمتلاء المثانة وتنشيط مستقبلات الشد Stretch receptors.

الكلىتين كأعضاء فى تنظيم الإتران الداخلى بالجسم

The Kidneys As Organs Of Homeostasis

تقوم الكلية بعمل ترشيح تام للبلازما من الشوائب والفضلات الضارة، فالكلية تستقبل ١٨٠ لتر من البلازما فى اليوم الواحد ويتم ترشيح ٢٠% من البلازما التى تمر بها فى المرة الواحدة، ولذلك فالكلية تعمل على تنظيم تركيب الدم للمحافظة على الإتران الداخلى Homeostasis. بجانب ذلك أيضا تقوم الكلية بالمحافظة على محتوى الجسم من الماء حيث يعاد إمتصاص الماء من الأبابيب الكلوية بطريقة سلبية. والكلية لها المقدرة على زيادة أو إنقاص معدلات إمتصاص الماء حسب الحالة نفسها. ففى حالة العطش (نقص أو منع الماء) تزيد الكلية من معدلات إصادة إمتصاص الماء، كما تسمح للجسم بالتخلص من الماء الزائد عند تناول كميات كبيرة فى ماء الشرب. وبالتالي فالكلىتين دور هام فى تنظيم

الإتزان الداخلى وسوف نوضح هذا الدور فيما يلى بإذن الله فيما يختص بتنظيم ميزان الصوديوم والماء والپوتاسيوم وتنظيم أيون الكالسيوم أيضا.

تنظيم ميزان الماء والصوديوم والپوتاسيوم :

Regulation Of Water, Sodium And Potassium Balance:

ميزان الماء والصوديوم الكلى بالجسم

Water : ميزان أى مادة بالجسم يعنى كمية المأخوذ (الداخل) والمفقود (الخارج) منها بالجسم ويدخل فى كمية المأخوذ ما يستطيع الجسم تكميله بالداخل. فبالنسبة لميزان ماء الجسم الكلى (Total body water (TBW) نجد أن الإنسان البالغ يتناول تقريبا ١٥٠٠سم^٣ ماء شرب + ١١٠٠سم^٣ ماء فى الغذاء + ٤٠٠سم^٣ ماء ناشئ عن أكسدة المسود الغذائية العضوية (ماء الأيض الغذائى) Metabolically produced water والكميات السابقة قابلة للتغيرات الواسعة تبعاً لتغير درجة حرارة الجو ونوع الغذاء... الخ. أما بالنسبة لفقد الماء من الجسم فيتم عن طريق ممرات وهى الماء المفقود من الجسم عن طريق التهخير سواء من على الجلد (غير العرق) وعن طريق الجهاز التنفسى وهذا الفقد يتم باستمرار ويسمى الفقد المائى الغير محسوس Insensible water loss نظراً لعدم إحساس الإنسان بحدوثه، كما تفقد كمية من الماء فى صورة عرق Sweat وتفقد أيضا كمية من الماء فى البراز والكمية الأكبر من الماء تفقد فى البول. بالإضافة إلى ذلك فهناك مصدر آخر لفقد كمية كبيرة نسبياً من الماء فى النساء وهى سائل الدورة الشهرية (حورة الطمث) Menstrual fluids.

أما بالنسبة لميزان كلوريد الصوديوم فمتوسط المأخوذ (الداخل) فى الغذاء يومياً حوالى ١٠٥ جم للشخص البالغ وهذه الكمية تفقد يومياً أيضاً عن طريق العرق والبراز والكمية الأكبر (حوالى ١٠٠ جم) تفقد فى البول.

والكمية المأخوذة يومياً من الماء وكلوريد الصوديوم تتساوى غالباً مع الكمية المفقودة يومياً أيضاً حتى تظل كمية الماء الكلى ثابتة فى الموسم الواحد تقريباً. والكلية هى العضو المسؤول عن هذا التساوى بين المكتسب والمفقود حيث يتم فى الكلية تنظيم فقد الماء والصوديوم فى البول والذى يمكن أن يختلف فى مدى واسع. فمثلاً يمكن أن يتغير حجم البول من نصف لتر فى اليوم (فى حالة نقص كمية الماء المشروب فى الصحراء مثلاً) إلى ٢٠-٢٥ لتر فى اليوم (فى حالة تملأى الإنسان البيرة والكحوليات عموماً بكميات كبيرة مثلاً). وبالمثل فيمكن أن يتناول بعض الأشخاص ٢٠ جم كلوريد صوديوم يومياً بينما يتناول البعض الآخر ١ جم فقط. والكلية الطبيعية السليمة تستطيع أن تضبط معدلات إخراجها من الملح لتتساوى مع كميات الملح المأخوذة بالجسم بالرغم من هذا المدى الواسع من الاختلافات.

تنظيم إعادة امتصاص الماء : Control Of Water Reabsorption : هناك

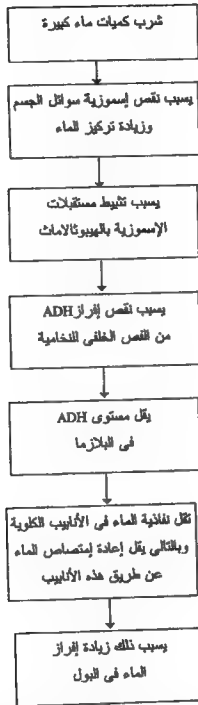
تنظيم هرمونى لإعادة امتصاص الماء عن طريق الكلية : والهرمونان الأساسيان اللذان ينظمان إعادة امتصاص الماء هما : ١- الهرمون المانع للتبول ADH -٢- هرمون الألدوسترون .

١- تنظيم إعادة امتصاص الماء بواسطة الهرمون المانع للتبول : Control Of Water

Reabsorption By Antidiuretic Hormone (ADH) المستويات العالية من الهرمون

المانع للتبول ADH تسبب انقباض للأوعية الدموية لذا فهو يسمى أيضا Vasopressine . وهذا الهرمون يخلق فى منطقة تحت المهاد Hypothalamus بالمخ ويخزن ويفرز من القصد الخلقى للغدة النخامية Pituitary gland . وينظم إفراز هرمون ADH عن طريق مستقبلات موجودة فى مراكز العطش بمنطقة تحت المهاد Hypothalamus حيث تنشط هذه المستقبلات عند زيادة الضغط الأسموزى فى الدم . وكذلك ينظم إفراز ADH عن طريق مستقبلات موجودة فى القلب ونقص حجم الدم ينشط هذه المستقبلات . ولإيضاح ذلك نفرض أن شخص قام ببذل مجهود عنيف فى جو حار فإن هذا الشخص سوف يفقد كمية كبيرة من العرق (العرق عبارة عن ماء وأملاح) وإذا لم يتم تعويض الماء المفقود فيسبب ذلك نقص حجم الدم كما يرتفع التركيز الإسموزى بالدم . ونسلك بسبب زيادة تركيز بروتينات الدم (لأن العرق لذى خرج من الجسم ترك فى الدم كيماويات لها نشاط إسموزى وهى بروتينات الدم) . ونقص حجم الدم وزيادة إسموزيته يسببان تنشيط إفراز هرمون ADH ، والذي يفرز من القصد الخلقى للنخامية ويذهب عن طريق الدم إلى الأنايب الملتوية البعيدة والأنايب المجمععة بالكلية ويسبب زيادة معدلات إعادة امتصاص الماء بهذه الأنايب وبالتالي يقل حجم البول (أى يقل حجم الماء المفقود من الجسم) وهذه آلية من آليات التكلم للعطش فى الجو الحار . حيث نقص حجم البول هذا يساعد على عودة حجم الدم وتركيزه الإسموزى إلى مستواها الطبيعىين .

وعلى العكس عند زيادة تناول الماء (شكل ١٢-٦) فإن هذا الماء يمر من الأمعاء الدقيقة إلى الدم فيسبب زيادة حجم الدم ونقص إسموزيته وبالتالي تقل إسموزية سوائل الجسم ويستقبل هذا خلايا مستقبلات الإسموزية فى الهيبوثالامات حيث ترسل رسائل كيميائية إلى القصد الخلقى للنخامية لإنقاص إفراز هرمون ADH وعند نقص إفراز ADH تنخفض نفاذية الأنايب الملتوية البعيدة والأنايب المجمععة بالكلية للماء وبالتالي يقل إعادة امتصاص الماء بهذه الأنايب مما يؤدي إلى زيادة قد الماء فى البول (شكل ١٢-٦) . وهذه تعتبر آلية من آليات التكلم لزيادة كمية الماء المشروب حيث يساعد ذلك على إنقاص حجم الدم وزيادة تركيزه للوصول بهما إلى المستوى الطبيعى .



شكل (١٢-٦) : الشكل يوضح المسلك الذى يحدث عند شرب كميات ماء كبيرة فتقوم مستقبلات الإسموزية بالهيبوناتالامات بإفراز ADH ويقلل يزداد كميات الماء الخارجة في البول (حجم البول).

وهناك بعض المواد الكيميائية الموجودة في بعض المشروبات التي يتناولها الإنسان والتي لها أثر أيضا على حجم البول. ومثالا لذلك الكافيين *Cafeine* الموجود بالشاي والقهوة وبعض المشروبات الغازية فهو يزيد حجم البول (يزيد إدرار البول *Diuretic*) وذلك بسبب أثره على زيادة ضغط الدم في حزمة الشعيرات بالكلى مما يسبب زيادة للترشيح من حزمة الشعيرات بالإضافة إلى أن الكافيين يسبب نقص في إعادة امتصاص الصوديوم من الأنابيب الكلوية. والمعروف أن الماء أثناء إعادة امتصاصه من الأنابيب يكون تابع لأيونات الصوديوم خارج هذه الأنابيب.

وبالتالي فنقص إعادة امتصاص الصوديوم يسبب نقص إعادة امتصاص الماء مما يسبب زيادة حجم البول. كما وجد أيضا أن المشروبات الكحولية تسبب تثبيط إفراز *ADH* مما يسبب زيادة حجم البول. والضرر الناتج من المشروبات الكحولية هنا ليس فقط من نقص إعادة امتصاص الماء عن طريق الأنابيب الكلوية ولكن نقص إفراز *ADH* أيضا يمكن أن يسبب خلل في تركيز مستقبلاته على هذه الأنابيب مما يؤدي إلى خلل في استجابتها لهذا الهرمون بالإضافة إلى أن نقص *ADH* أيضا يسبب فقد جزئي للذاكرة وعدم المقدرة على استعادة المعلومة. بالإضافة إلى ذلك فنقص إفراز أى هرمون عن مستوى الطبيعي يخل بالإكتران الهرموني بالجسم مما يسبب أضرار جسيمة عن طريق الخلل في عملية الإكتران الداخلي *Homeostasis* بالجسم نفسه.

والإنسان في تناول الخمر يسبب نقص إنتاج وإفراز هرمون *ADH* (يمكن أن يسبب ذلك إصابة الرأس أيضا). ونقص إنتاج *ADH* يسبب مرض البول المائي *Diabetes insipidus* وسبب تسمية للمرض بهذا الاسم أن البول يكون مخفف وديم الطعم *Insipid* وأمراض هذا المرض هو تكرار التبول *Polyuria* مع زيادة كمية البول حتى يمكن أن تصل إلى ٢٠ لتر يوميا (لاحظ أن حجم البول الطبيعي يقع حول الثلاث لترات يوميا)، مع العطش الشديد وتكرار شرب الماء وكميات كبيرة. لذا فالمرضى بهذا المرض لا ينامون (لمدة طبيعية كافية) حيث يضطرون للإستيقاظ من النوم لإحتياجهم الشديد لشرب الماء والتبول. ولعلاج هذا المرض يجب أولا الإبتعاد عن تناول المشروبات الكحولية حتى ولو كان تركيز الكحول بها بسيط جدا، كما يمكن أن يتناولوا أدوية تثاقل لإخراج البول *Antidiuretics*. وفي الحالات الحادة يمكن إعطاء المرضى *ADH* المخلق صناعيا.

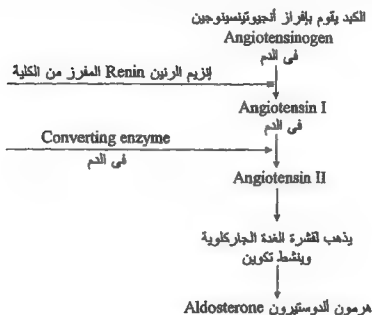
٢ - تنظيم إعادة امتصاص الماء بواسطة هرمون قشرة الغدة الجاركلوية المختص بميتابولزم

الماء والأملاح (هرمون الألدوستيرون):

Control Of Water Reabsorption By Aldosterone Hormone :

هرمون الألدوستيرون *Aldosterone* هو هرمون أستيرويدي *Steroid hormone* يفرز من قشرة الغدة الجاركلوية *Adrenal cortex* والتي هي جزء من الغدة الجاركلوية *Adrenal gland*.

ويوجد في الجسم غدتان جاركوليتان تقع كل واحدة منهما فوق الكلى. وهرمون الألدوستيرون Aldosterone يساعد هرمون ADH في المحافظة على الإيزان المائى والكيميائى فى الجسم. لذا نكلا الهرمونين (ADH and Aldosterone) يعتبران مكونان رئيسيان فى آليات الإيزان الداخلى Homeostatic mechanisms للمحافظة على هذا الإيزان المائى والكيميائى بالجسم. وينظم إفراز هرمون الألدوستيرون Aldosterone ضغط الدم وحجم الدم والتركيز الإسموزى للدم. فنقص ضغط وحجم الدم أو نقص حجم الراشح فى الأنابيب الكلوية ينشط الكلية لإفراز إنزيم الرنين Renin (لاحظ أنه يسمى أيضا هرمون الرنين) (شكل ١٢-٧).



شكل (١٢-٧) : الشكل يوضح دور الكلية فى تنظيم إفراز هرمون Aldosterone من قشرة الغدة الجاركلوية

ويقوم إنزيم الرنين بتحويل مركب فى الدم يسمى أنجيوتنيسينوجين Angiotensinogen إلى مركب آخر يسمى Angiotensin I ويقوم إنزيم موجود فى الدم يسمى Converting enzyme بتحويل Angiotensin I إلى Angiotensin II وينقل Angiotensin II عن طريق الدم إلى قشرة الغدة الجاركلوية Adrenal cortex وينشط إفرازها من هرمون Aldosterone (شكل ١٢-٧). ويسبب هرمون Aldosterone زيادة مستوى الصوديوم فى الدم عن طريق عمله على زيادة إعادة امتصاص أيونات الصوديوم فى الأنابيب المتلوية للبعيدة Proximal convoluted tubules والأنابيب المجمعة Collecting ducts حيث يمتص الصوديوم بواسطة الشعيرات الدموية المحيطة

بهذه الأليبيب وبذا يرتفع مستواه في الدم. ونتيجة لارتفاع مستوى الصوديوم في الدم تزداد إسموزية الدم وبالتالي يتحرك الماء إلى الدم (أي أن الماء يتبع الصوديوم في حركته).

والخلاصة هنا أن زيادة مستوى هرمون Aldosterone في الدم تسبب زيادة معدلات إصادة إمتصاص الصوديوم (والماء يتبع الصوديوم كما سيأتى شرحه بإذن الله فيما بعد) وبالتالي تزداد معدلات إعادة إمتصاص الماء أيضا. وهذه إحدى الآليات الإكزان الداخلى Homeostatic mechanisms للمحافظة على حجم وضغط الدم الطبيعيين وعلى الضغط الإسموزى الطبيعى للدم أيضا.

عمليات الكلية الأساسية بالنسبة للصوديوم والماء :

Basic Renal Processes For Sodium And Water :

يتم ترشيح كلا من الصوديوم والماء بسهولة وبحرية من شبكة الشعيرات الدموية بالكبيبات إلى فراغ حوصلة بومان وذلك بسبب إنخفاض وزلهما الجزيئى كما أنهما لا يرتبطان بالبروتين. ويحدث إعادة إمتصاص لكلا منهما بكمية كبيرة (٩٩-٩٩,٥%). ومعظم إعادة الإمتصاص (حوالى ٦٦% منها) تتم فى الأليبيب الملتوية القريبة. كما أن معظم الطاقة التى تستهلكها الكلية تستخدم فى غرض إعادة إمتصاص الماء والصوديوم. وآليات إعادة إمتصاص الصوديوم والماء يمكن تلخيصها فى نقطتين هما: ١- أن عملية إعادة إمتصاص الصوديوم هى عملية نشطة Active process تحدث فى الأربع أجزاء الرئيسية للأليبيب الكلوية وهى: الأليبيب القريبة Proximal tubule وعروة هنلى Loop of Henle والأليبيب الملتوية البعيدة Distal convoluted tubule والقناة المجمعة لـ Collecting duct. ٢- إعادة إمتصاص الماء عالية كتبع إعادة إمتصاص الصوديوم حيث تحدث بواسطة الانتشار الذى يعتمد على فرق التركيز.

وكما ذكرنا سابقا فالذى يحدث أولا هو إعادة إمتصاص الصوديوم عن طريق النقل النشط Primary active sodium reabsorption بواسطة مضخات الصوديوم والبوتاسيوم Na and K-ATPase pumps عبر الأغشية القاعدية الجانبية للخلايا الطلائية للأليبيب البولية حيث يمر خارج الخلايا إلى السوائل بين الخلوية. وهذا النقل النشط يحافظ على تركيز الصوديوم داخل الخلايا أقل منه فى تجويف الأليبيب البولية وبالتالي ينتشر الصوديوم من تجويف الأنبوبة إلى الخلايا الطلائية للأليبيب البولية. ويجدر الإشارة هنا إلى أن هذه الآلية الدقيقة للنقل للسالب للصوديوم عبر أغشية الأنبوية البولية تختلف بين قطعاها المختلفة حيث يتوقف ذلك على عاملين وهما القنوات والنواقل (الحاملات) الموجودة بأغشية خلايا الأنبوية.

أما بالنسبة لتبعية إعادة إمتصاص الماء بإعادة إمتصاص الصوديوم فهذه يمكن تلخيصها على النحو التالى: ١- إنتقال الصوديوم من تجويف الأنبوية البولية عبر الخلايا الطلائية إلى سوائل بيسن

الخلايا (ISF) Interstitial Fluids يؤدي إلى ارتفاع إسموزية السوائل بين خلاوية ISF أي انخفاض تركيز الماء بالـ ISF الملاصقة للخلايا الطلائية مع نقص إسموزية الراشح البولي أي زيادة تركيز الماء في سوائل الأنبوية. هذا الاختلاف في تركيز الماء بين السائلين يؤدي إلى انتشار حقيقى للماء من فراغ الأنبوية البولية عبر الأغشية الطلائية لخلايا الأنبوية وعبر نقط الإتصال المحكمة إلى السوائل بين خلاوية ISF ومن السوائل البين خلاوية ISF يتحرك الماء والصوديوم وكل الأشياء الموجودة بهذه السوائل بواسطة التدفق الكلى إلى الشعيرات الدموية المحيطة بالأنابيب البولية كخطوة أخيرة فى صلية إعادة الإمتصاص. ويجدر الإشارة أن عملية إعادة الإمتصاص هذه يمكن حدوثها فقط إذا كانت الخلايا الطلائية منفذة (نفاذه) للماء. فهما زاد الفرق فى التركيز (أي زادت قوة فرق التركيز) لا ينتقل الماء عبر الخلايا الطلائية الغير نفاذه للماء. وتختلف نفاذية للقطع المختلفة من الأنبوية الكلوية. فالأنبوية الكلوية القريبة عالية النفاذية بالنسبة للماء لذلك يعاد إمتصاص الماء من هذه القطعة بنفس سرعة إعادة إمتصاص الصوديوم (أي أن هذه القطعة تمتص كميات متساوية من أيونات الماء والصوديوم) وبالتالي يظل الراشح البولي مماوى فى إسموزيته لإسموزية بلازما الدم (إسموزية بلازما الدم تساوى 300 mOsmol/L). أما بالنسبة للقطعة الأخيرة من الأنبوية وهى القلاء المجمع للبول Collecting duct فنفاذيتها للماء تخضع للتنظيم الفسيولوجى حيث يوجد بها مستقبلات لهرمون ADH السابق ذكره وبالتالي فممكن أن تكون نفاذية هذه القلاء للماء عالية أو منخفضة حسب مستوى هرمون ADH المفرز فى الدم.

تركيز البول : آلية التوار المتضاعف المضاد (العكسى) :

Concentrating The Urine : The Countercurrent Multiplier Mechanism :

كما نعلم أن أسموزية بلازما الدم تقدر بحوالى 300 mOsmol/L بينما تبلغ أقصى قدرة لكلية الإنسان على تركيز البول إلى 1400 mOsmol/L تقريبا أى أكثر من أربعة أضعاف إسموزية البلازما.

ولو علمنا أن الكميات اليومية المفرزة من اليوريا والسلفات والفوسفات ومخلفات التمثيل الغذائى والأيونات الأخرى تبلغ حوالى 600 mOsmol. وهذه الكمية لابد من خروجها يوميا فى البول وإلا تسبب ضرر للإنسان ولذلك فالحاد الأدنى لكمية الماء التى يمكن أن تذيب هذه الكمية يمكن إستنتاجها من المعادلة التالية :

$$\text{Minimum urine volume} = \frac{600 \text{ mOsmol/day}}{1400 \text{ mOsmol/L}} = 0.444 \text{ L/day}$$

ولذلك فلابد يوميا من إفراز بول، حجمه 450 سم^3 تقريبا حتى يمكن التخلص من فضلات التمثيل الغذائي (الأيض الغذائي) الضارة. هذا ويعرف حجم البول الناتج في المعادلة السابقة (0.444 L/day) بالفقد الإلزامي للماء **Obligatory water loss** أى هو حجم الماء الذى لابد للجسم أن يتقده يوميا بصرف النظر عن حالة الإنسان من حيث تناول مياه الشرب من عدم تناولها. ولذلك فهذا الفقد اليومي الإلزامي من الماء هو الذى يساهم فى إحداث الجفاف Dehydration فى حالة تعرض الفرد للحرمان من شرب الماء أو تناول أغذية بها كمية غير كافية من الماء.

وبالول يترك الأنايب الكلوية الملتوية البعيدة ومنها يذهب إلى القنوات المجمعة. وتبسط القنوات المجمعة إلى نخاع الكلية وتتحد لتكون قنوات أكبر تصب فى حوض الكلية (شكل ١٢-٣). ولتأه هبوط القنوات المجمعة Collecting ducts خلال نخاع الكلية يفقد معظم الماء المتبقى فى الأنايب حيث ينتقل بواسطة الإسموزية. والسبب فى ذلك أن تركيز كلوريد الصوديوم فى السوائل بين الخلايا ISF فى نخاع الكلية يزداد مع زيادة العمق لذلك يتم إعادة امتصاص كميات متزايدة من الماء عند مرور البول إلى أسفل خلال نخاع الكلية Renal medulla وهذه الزيادة المتدرجة فى التركيز تعمل على تركيز البول والإحفاظ بالماء.

وهذه الزيادة المتدرجة فى تركيز كلوريد الصوديوم تحدث نتيجة لتنظيم للنقل المتضاعف العكسي (المضاد) Countercurrent multiplies system بعروات هنلى والتي تسمى أيضا بالية التيار التبادلي المعاكس Countercurrent exchange mechanism. ولإيضاح كيفية عمل عروة هنلى هناك يتطلب معرفة فنانيتها للماء وكلوريد الصوديوم. فالفرع الصاعد لعروة هنلى Ascending loop of Henle يتحرك فيه البول لأعلى فى اتجاه الأنبوية الملتوية البعيدة (شكل ١٢-٣) حيث يحدث نقل نشط Active transport لكلوريد الصوديوم من أنبوية الفرع الصاعد إلى نخاع الكلية. (لاحظ أن هذا النقل للنشط يحدث لأيونات الصوديوم وبعيها أيونات الكلوريد سلبيا عن طريق الانتشار). وبما أن الفرع الصاعد غير نفاذ للماء ولذلك لا يستطيع الماء المرور من أنبوية الفرع الصاعد إلى نخاع الكلية.

وعملية النقل للنشط لكلوريد الصوديوم تصل لقصاها فى الجزء الأسفل من عروة هنلى لذا يصل تركيز كلوريد الصوديوم أقصى فى أسفل بين الخلايا ISF فى الجزء الأسفل من عروة هنلى، وكلما ارتفع البول إلى أعلى كلما تنقص إنتقال أيونات الصوديوم والكلوريد إلى الخارج، لذا يتناقص تركيز أيونات الصوديوم والكلوريد فى السائل بين الخلايا كلما يرتفع البول إلى أعلا وبالتالي فهذا الاختلاف فى إنتقال كلوريد الصوديوم من أسفل إلى أعلا بسبب وجود التركيز المتدرج

Concentration gradient السابق ذكره وعلى العكس ففرع عروة هنلى النازل لا يضخ كلوريد الصوديوم (أيونات الصوديوم والكلوريد) ولكن له نفاذية عالية للماء لذا فإن الماء ينتشر منه إلى مسائل بين الخلايا الأكثر تركيزاً حتى تتساوى الإسموزية بدخول عروة هنلى مع إسموزية السوائل بين الخلايا ISF مرة ثانية.

والمعنى المقصود هنا أن كلوريد الصوديوم يعود إلى الفرع الهابط (النازل) من عروة هنلى و Descending loop of Henle ثم يضخ كلوريد الصوديوم مرة أخرى إلى الخارج عند صعود البول مرة أخرى في فرع عروة هنلى للصاعد Ascending loop of Henle وهذه الحركة الدورية لكلوريد الصوديوم تساعد على إبقاء التركيز المترج حيث تحدث أيضاً حالة إيزان تتساوى فيها حركة كلوريد للصوديوم إلى الخارج في الفرع الصاعد مع حركة كلوريد الصوديوم إلى الداخل في الفرع الهابط. مع بقاء تركيز للصوديوم أقصاه في السوائل بين الخلايا ISF عند قاعدة (الجزء السفلى) عروة هنلى ولهذا سميت هذه الآلية بالآلة التيار التبادلي المضاد (أو المعاكس) Countercurrent exchange mechanism.

تنظيم الكلى للصوديوم : Renal Sodium Regulation

من العمليات الإنعكاسية التي تقوم بها الكلى ضمن عملياتها الأساسية هي تنظيم إخراج الصوديوم والماء. وقد تحدثنا سابقاً عن دور الكلى في تنظيم إعادة امتصاص الماء. أما بالنسبة للصوديوم ففي الإنسان أو الحيوان السليم جشاعياً يتم تنظيم محتوى الجسم الكلى من الصوديوم تنظيمياً دقيقاً بحيث يختلف محتوى الجسم من الصوديوم في حدود ضيقة جداً بصرف النظر عن التغيرات الواسعة في كمية الصوديوم المأخوذة في الغذاء أو التغيرات الواسعة أيضاً في كمية الصوديوم المفقودة سواء في العرق أو مع البراز عن طريق القناة الهضمية. وهذا الثبات النسبي لكمية الصوديوم في الجسم يتم عن طريق زيادة إخراج الصوديوم في البول إنعكاسياً إذا حدثت زيادة في كمية الصوديوم الموجود بالجسم، ونقص إفراز الصوديوم في البول إنعكاسياً أيضاً مع نقص كمية الصوديوم الموجودة بالجسم.

والمعروف أن الصوديوم يرشح بحرية من حزمة الشعيرات الدموية Glomerulus ثم يعاد إمتصاصه بعملية الإمتصاص النشط Active transport من الراشح لكن هذا الصوديوم لا يفرز فسي الألياف البولية مرة أخرى (أثناء المellek الثاني للتخلص من الفضلات وهو الإقراز في الأنابيب

Tubular secretion)-. ولذلك فإن الكمية المفرجة من الصوديوم في البول يمكن حسابها من المعادلة التالية:

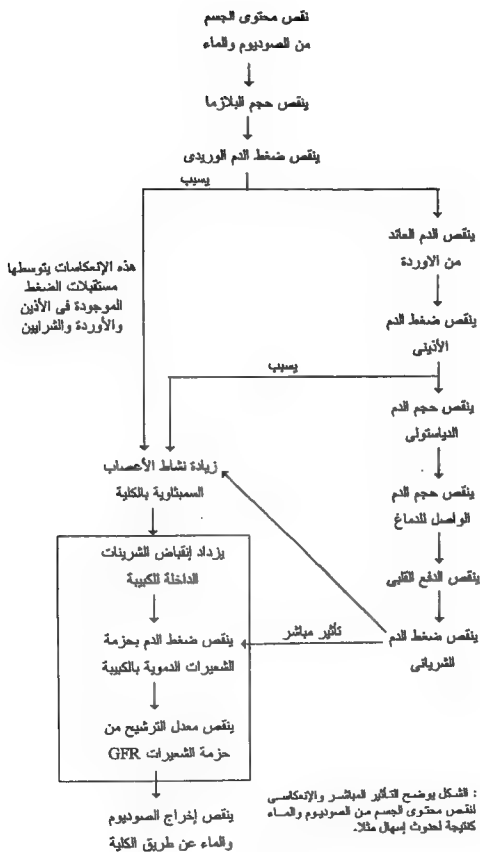
كمية الصوديوم في البول = الصوديوم المرشح من حزمة الشعيرات - الصوديوم المعاد امتصاصه وجسم الإنسان أو الحيوان له المقدرة في التحكم إنعكاسيا في كمية الصوديوم المفرجة في البول وذلك عن طريق التحكم في كمية الصوديوم التي يتم ترشيحها من حزمة الشعيرات الدموية وأيضا التحكم في كمية الصوديوم المعاد امتصاصها. فعندما يقل محتوى الجسم من الصوديوم ينخفض إخراجها إنعكاسيا عن طريق خفض معدلات الترشيح من حزمة الشعيرات **Glomerular Filtration Rate (GFR)** مع زيادة إعادة الامتصاص. وهذه الأفعال الإنعكاسية تبدأ معظمها من مستقبلات الضغط **Baroreceptors** مثل مستقبلات الضغط الموجودة في الجيب السباتي **Carotid sinus**.

والمعروف أن الصوديوم هو الكاتيون الرئيسي في السوائل خارج خلوية **Extracellular fluids (ECF)** لذلك فالتغيرات في تركيز الصوديوم بالجسم يتبعها تغيرات في حجم الـ **ECF**. وهذه السوائل الخارج خلوية تشمل في الإنسان بلازما الدم **Blood plasma** (سوائل الدم) بالإضافة إلى السوائل بين الخلوية **Interstitial fluids (ISF)** مضافا إليها سوائل البطن وسوائل المخ والنخاع الشوكي من المخ أما في الحيوانات المجتررة فيضاف إليها سوائل الكرش. وحجم بلازما الدم يعتبر عامل محدد لضغط الدم في الأوردة وغرف القلب والشرايين فكلما زاد حجم الدم كلما زاد الضغط بهم وكلما نقص حجم الدم كلما نقص الضغط بهم. وبالتالي فمن الممكن بكلمات أخرى ترجمة هذه العلاقة بالصوديوم، فكلما زاد تركيز الصوديوم زاد حجم الدم وضغط الدم بالجهاز الوعائي والعكس صحيح فكلما نقص تركيز الصوديوم نقص حجم الدم وضغط الدم بالجهاز الوعائي. وإنخفاض ضغط الدم بالجهاز الوعائي يؤثر على مستقبلات الضغط **Baroreceptors** بالجهاز الوعائي وبالتالي تنشأ الأفعال الإنعكاسية التي تسبب ١- عودة ضغط الدم لمستواه الطبيعي من خلال التأثير المباشر لهذه الأفعال الإنعكاسية على الجهاز القلبي الوعائي ٢- خفض معدلات الترشيح من حزمة الشعيرات الدموية **Glomerular filtration rate (GFR)** مع زيادة إعادة امتصاص الصوديوم **Sodium Reabsorption**. وبالتالي يزداد احتجاز الصوديوم بالكلية مما يمنع أي انخفاض زائد في ضغط وحجم الدم.

تنظيم معدلات الترشيح من حزمة الشعيرات الدموية :

Control Of Glomerular Filtration Rates (GFR) :

أوضحنا فيما سبق أن نقص تركيز الصوديوم يسبب نقص معدلات الترشيح من حزمة الشعيرات الدموية **GFR** والآلية الرئيسية التي من خلالها يؤدي نقص محتوى الصوديوم في الجسم إلى خفض الترشيح من حزمة الشعيرات الدموية **GFR** يوضحها (شكل ١٢-٩). والذي يوضح أن نقص



شكل (١٢-٩) : الشكل يوضح التأثير المباشر والإنكساري
لنقص محتوى الجسم من الصوديوم والماء
كنتيجة لحدوث إسهال مثلاً.

معدلات الترشيع من حزم الشعيرات الدموية بالكبيبات GFR ينتج عن أثر مباشر لإخفاض ضغط الدم الشرياني بالكلية كما يحدث أيضا كنتيجة للأفعال الإيمكسوية التي يتوسطها مستقبلات الضغط Baroreceptors الموجودة في الأذين القلبي والأوردة والشرايين والتي تحدث تأثيراتها عن طريق زيادة نشاط الأعصاب السمبثاوية بالكلية Renal sympathetic nerves والتي تحدث تأثيرها على الشريينات الكلوية الداخلة Afferent arterioles لتسبب إنقباضها.

أما في حالة زيادة محتوى الجسم من الصوديوم والماء فيحدث العكس تماما حيث تحدث زيادة في معدلات الترشيع من حزم الشعيرات الدموية بالكبيبات كنتيجة لزيادة حجم البلازما. وبالتالي فهذه الزيادة في معدلات الترشيع تؤدي إلى زيادة قد الصوديوم والماء في البول حيث تعود بالزما الدم لحجمها الطبيعي.

التحكم في إعادة امتصاص الصوديوم : Control Of Sodium Reabsorption :

يعتبر هرمون الألدوستيرون Aldosterone هو المنظم الرئيسى في عملية إعادة امتصاص الصوديوم (راجع تنظيم إعادة امتصاص الماء بواسطة هرمون الألدوستيرون في هذا الباب). هذا ويعتبر تنظيم إعادة امتصاص الصوديوم أهم بكثير من تنظيم معدلات الترشيع من حزمة الشعيرات الدموية بالكبيبة خصوصا فيما يتعلق بإخراج الصوديوم على فترات طويلة المدى.

وبالإضافة لما أوضحناه سابقا في هذا الباب عن دور الـ Angiotensin II كمنشط قوى لإفراز هرمون الألدوستيرون من قشرة الغدة الجاركلوية Adrenal cortex، إلا أنه ليس المنشط الوحيد فهناك عامل منشط آخر لإفراز الألدوستيرون وهو نسبة الصوديوم والبوتاسيوم فيزاد إفراز هرمون الألدوستيرون عند تناول أطعمة غنية في البوتاسيوم وقليلة في الصوديوم.

بالإضافة إلى ذلك فهناك عامل هرموني آخر وهو عامل الأئين المصحب لفقد الصوديوم في البول (Atrial Natriuretic Factor (ANF) وكما هو موضح بالشكل التالى (شكل ١٢-٩) فهرمون ANF يفرز من خلايا باذيلات القلب Cardiac atria ويصل للكلية عن طريق الدم ليثبط إعادة امتصاص الصوديوم بالكلية، كما يعمل على الأوعية الدموية بالكلية ليرفع معدلات الترشيع من حزم الشعيرات الدموية والمحصلة النهائية كنتيجة لزيادة إفراز هرمون ANF هي زيادة إفراز الصوديوم في البول.

تنظيم البوتاسيوم Potassium Regulation : كما نعلم فالبوتاسيوم هو أكثر الأيونات تركيزا داخل الخلايا. وبالرغم من أن نسبة البوتاسيوم في السوائل الخارج خلوية هي ٢٪ فقط إلا أن هذه النسبة القليلة تسميها آثار هامة جدا بالنسبة لأداء الأنسجة القليلة للتبويض لوظائفها (خصوصا الأنسجة العصبية والمضلية). لذلك فإن أول أعراض تظهر كنتيجة لنقص البوتاسيوم هي ضعف



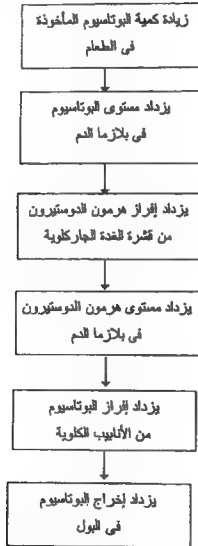
شكل (١٢-٩) : الشكل يوضح لتأثير المباشر لتحكم هرمون ANF على الأنابيب الكلوية وحزم الشعيرات الدموية بالكبيبات والذي يسبب زيادة إفراج الصوديوم فى البول.

المعضلات الهيكلية نظرا لتقص قدرتها على إنتاج فعل الجهد (راجع الجهاز العضلى) وخلل فى توصيل الإشارة عبر الجهاز الموصل للقلب مما يسبب خلل فى النظام الإيقاعى للقلب.

وكما ذكرنا من قبل فهناك إيقاع بيولوجى Biological rhythm لتقسيم اليوتاسيوم، فإخراج اليوتاسيوم من الجسم يكون معظمه أثناء فترات النهار ويقل فى فترات الليل حيث يسبب ذلك إلى إلتزان اليوتاسيوم فى جسم الإنسان أو الحيوان (لاحظ أن زيادة المأخوذ من اليوتاسيوم فى الغذاء يكون أثناء فترات النهار).

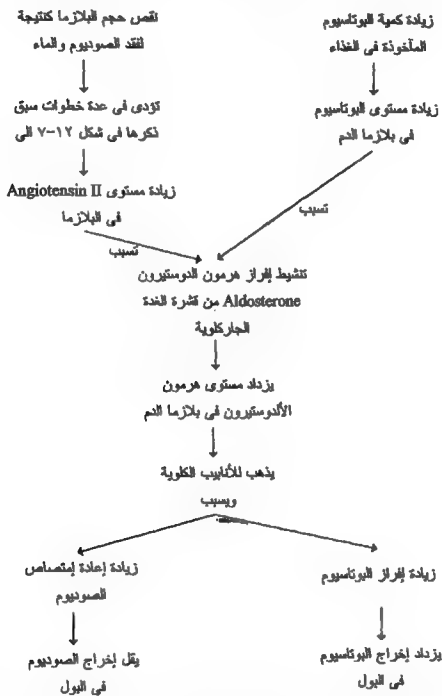
والكلية تعتبر المنظم الرئيسى لتركيز اليوتاسيوم بالجسم. واليوتاسيوم يمر بحرية تامة خلال حزمة الشعيرات الدموية فى الرشح إلى فراغ حوصلة يومان. ثم يعاد امتصاص معظمه من رشح الحزمة عن طريق الأنابيب الكلوية القريبة وعروة هنلى. ثم بعد ذلك تقوم الأنابيب القشرية المجمع للبول بإفرازه إلى الرشح بغراضها، لذا فإن التغيرات التى تحدث فى إخراج اليوتاسيوم ترجع أساسا إلى التغيرات التى تحدث فى إفرازه عن طريق هذه الأنابيب (الأنابيب القشرية المجمع للبول). ولذلك فإن اليات المحافظة على الإلتزان الداخلى لليوتاسيوم Potassium homeostatic mechanisms تجعل الأنابيب القشرية المجمع للبول Cortical collecting ducts تفرز اليوتاسيوم بكميات تختلف

بهدف المحافظة على الإتزان الداخلى Homeostasis لبيوتاسيوم الجسم. ومن أهم العوامل التى تؤدي إلى تنظيم إفراز البيوتاسيوم هو هرمون الألدوستيرون Aldosterone (شكل ١٢-١٠). فزيادة الكمية المأخوذة من البيوتاسيوم فى الغذاء تسبب زيادة مستوى البيوتاسيوم فى بلازما الدم مما يؤثر مباشرة على خلايا قشرة الغدة الجاركلوية المنتجة لهرمون الألدوستيرون وهى خلايا حساسة للتغيرات فى تركيز البيوتاسيوم فى سوائل خارج الخلايا المارة حولها. فزيادة تركيز البيوتاسيوم تسبب زيادة إفراز هرمون الألدوستيرون من هذه الخلايا. وهرمون الألدوستيرون يزيد من فقد البيوتاسيوم فى البول. والعكس صحيح فنقص مستوى البيوتاسيوم فى الدم يقلل من إفراز هرمون الألدوستيرون مما يؤدي إلى نقص إفراز البيوتاسيوم فى البول.



شكل (١٢-١٠) : الشكل يوضح المسلك الذى عن طريقه تؤدي زيادة المأخوذ من البيوتاسيوم إلى زيادة الفقد منه فى البول عن طريق توسط هرمون الألدوستيرون

لما بالنسبة لأثر هرمون الألدوستيرون على تنظيم إفراز الصوديوم والبوتاسيوم في البول يوضحه شكل ١٢-١١. وتجد في هذا الشكل معلومة هامة وهي أن هرمون واحد وهو هرمون



شكل (١١-١٢) : الشكل يوضح الدور التنظيمي الذي يقوم به هرمون الألدوستيرون Aldosterone في إعادة امتصاص الصوديوم في الجسم وإخراج البوتاسيوم من الجسم.

الألدوستيرون يسبب إعادة امتصاص الصوديوم وقد البوتاسيوم في نفس الوقت. وهذه المعلومة تشير تمائلا عن التضارب المحتمل وجوده في الإتران الداخلي Homeostasis لكلا الأيونين. ومثالا لذلك فلو كان شخص ما عنده نقص في الصوديوم فقط وبالتالي سوف يفرز كميات عالية من هرمون الألدوستيرون. والمحمّل أن هذه الكميات سوف تسبب زيادة في فقد البوتاسيوم من الجسم وبالتالي يفتل ميزان البوتاسيوم بالجسم، لكن الحقيقة أن هذا لا يؤثر إلا تأثيرات بسيطة جدا على ميزان البوتاسيوم بالجسم. وذلك بسبب وجود عدة عوامل أخرى مختلفة منظمة لإبطال إفراز البوتاسيوم أو الصوديوم للمحافظة على مستوييهما الطبيعي في مثل هذه الحالات وبالنسبة للمثال الذي ذكرناه فهذه العوامل تبطل إفراز البوتاسيوم في البول للمحافظة على مستواه الطبيعي في الجسم.

تنظيم الكالسيوم Calcium Regulation :

يتح ضبط مستوى أيون الكالسيوم في بلازما الدم كل دقيقة (دقيقة بدقة) وذلك حيث أن أي خال في الإتران الداخلي Homeostasis لأيون الكالسيوم في الدم يعقبه خال لمعظم الوظائف البيولوجية بالجسم فتركيز الكالسيوم يؤثر على قابلية الجهاز العصبي - للمعضلي للتبرج Neuromuscular excitability. فنقص الكالسيوم في بلازما الدم يسبب حالة Hypocalcemic tetany والتي تتميز بحدوث تشنجات بالمعضلات الهيكلية Skeletal muscle spasms كنتيجة لزيادة قابلية أغشية خلايا الأعصاب والمعضلات للتبرج.

ومن ناحية أخرى فإن زيادة مستوى أيون الكالسيوم في لدم خطوره على حياة الفرد حيث تسبب خال في نظم القلب Cardiac arrhythmias وإنخفاض في قابلية الجهاز العصبي - للمعضلي للتبرج.

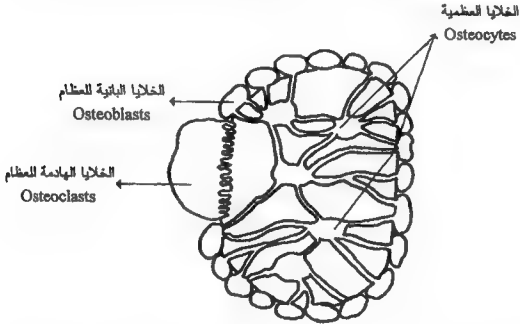
وهذه الآثار السابقة للكالسيوم ترجع إلى قدرة أيون الكالسيوم الموجود في السوائل خارج خلوية ECF على الإرتباط مع بعض البروتينات الموجودة في أغشية الخلايا والتي تعمل كقنوات أيونية، هذا الإرتباط يفر من فتح أو غلق هذه القنوات. وهذه التأثيرات للكالسيوم على أغشية الخلايا متميزة تماما عن غيرها من التأثيرات التي يتحكم بها الكالسيوم داخل الخلية حيث يربط التبرج بالإقباض المعضلي . Excitation-contraction coupler in muscle

الإتران الداخلي للكالسيوم Calcium Homeostasis :

ما تحدثنا عنه سابقا بالنسبة للإتران الداخلي Homeostasis للصوديوم والبوتاسيوم والماء كان في مجمله يتعلق بدور الكلية فقط في التعامل معهم لإحداث هذا الإتران. وعلى العكس لتنظيم الكالسيوم لا يعتمد فقط على الكلية ولكنه يعتمد بجانب الكلية على النظام والقناة الهضمية.

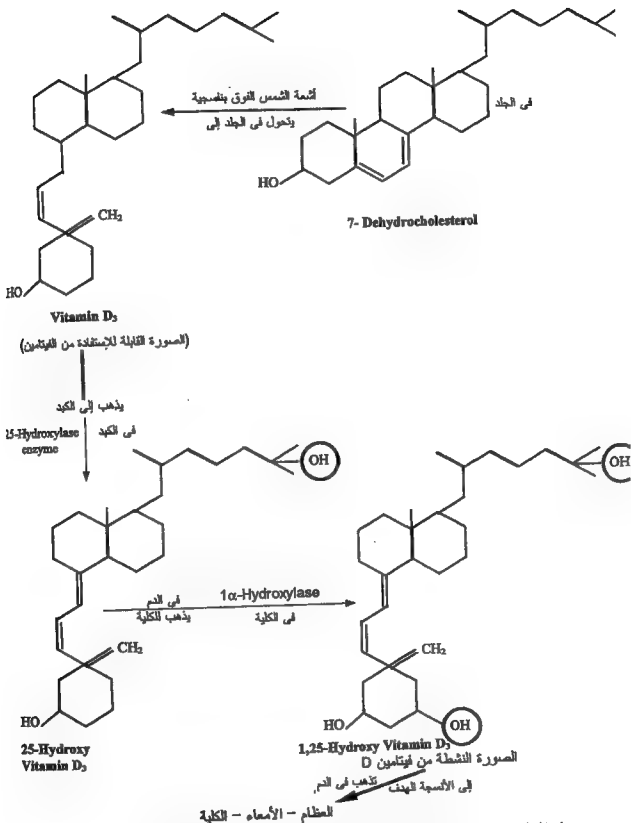
١- العظم Bone : كما ذكرنا من قبل فالعظم عبارة عن نسيج ضام متخصص (راجع الأنسجة

الضامة) يحتوى على عدة أنواع من الخلايا محاطة بمادة بينية كولاينية Collagen matrix (شكل ١٢-١٢) وهذه المادة تسمى Osteoid ويوجد بمادة الـ Osteoid ترسبات ملحية معظمها بلورات الكالسيوم والفوسفات والتي تسمى Hydroxyapatite. والعظم يحتوى على ٩٩٪ من كالسيوم الجسم الكلى فى صورة أملاح مترسبة فى المادة البينية للعظام Collagen matrix. وهناك ثلاثة أنواع من خلايا العظام هى : ١- الخلايا البانية للعظام Osteoblasts والخلايا الهادمة للعظام Osteoclasts والخلايا العظمية Osteocytes. والخلايا العظمية هى عبارة عن الخلايا البانية للعظام بعد إحاطتها بالمادة البينية. (أى أنه بمجرد أن تحاط خلايا الـ Osteoblasts بالمادة البينية للعظام تسمى فى هذه الحالة خلايا Osteocytes) (شكل ١٢-١٢). والهيكل العظمى فى الإنسان أو الحيوان يعتبر كمخزن



شكل (١٢-١٢) : رسم تخطيطى لتقاطع عرضى فى جزء من العظمة ويظهر فيه أن الخلايا العظمية Osteocytes يتنقذ منها ننوات تصل قنوات تتصل ببعضها البعض كما تتصل أيضا بالخلايا البانية للعظام.

للكالسيوم فهو يضيف، أو يسحب الكالسيوم من السوائل الخارج خلوية ECF. فعند نقص مستوى أيون الكالسيوم فى الدم (السوائل خارج خلوية) تقوم مجموعة من الهرمونات بتنشيط الخلايا الهادمة للعظام Osteoclasts فتزداد عملية إمتصاص العظام Bone resorption وسحب الكالسيوم إلى السوائل



شكل (١٢-١٣) : الشكل يوضح خطوات تخليق الصورة النشطة من فيتامين د وهي 1,25 Dihydroxyvitamin D3 من الصورة القابلة للإستفادة وهي 7-Dehydrocholesterol.

الجزان الدخلى للكاسيوم : للتنظيم الهرمونى :

Calcium Homeostasis : Hormonal Regulation :

تركيز أيون الكالسيوم فى الدم يتم تنظيمه كل دقيقة عن طريق ثلاثة هرمونات هى: -١- هرمون الغدة جارات الدرقية (PTH) Parathyroid hormone -٢- الصورة النشطة من فيتامين د وهى عبارة عن هرمون إسترويدي $1,25 \text{ Dihydroxyvitamin D}_3$ وهرمون الكالسيتونين Calcitonin ولو أن الأخير له أثر ضئيل.

هرمون PTH يسبب -١- زيادة امتصاص العظام Bone resorption مما يسبب إنتقال الكالسيوم والفوسفات من العظام إلى السوائل الخارج خلوية ECF -٢- ينشط تكوين الصورة النشطة من فيتامين د $1,25 \text{ Dihydroxyvitamin D}_3$ والأخيرة تسبب زيادة امتصاص الكالسيوم من الأمعاء -٣- يقلل من إخراج الكالسيوم فى البول عن طريق زيادة إعادة امتصاصه فى الألياف البولية. وكل هذه الآثار السابقة تودى إلى رفع كالسيوم الدم وبالتالي يقل إفراز PTH (كفعية رجعية سلبية). أما بالنسبة للصورة النشطة من فيتامين د فموضح طريقة تكوينها الشكل (١٢-١٣) فالصورة الغير قابلة للإستفادة من فيتامين د تسمى $7\text{-Dehydrocholesterol}$ توجد تحت الجلد فى الإنسان والحيوان وهذه تتحول عن طريق أشعة الشمس للوق بنفسجية Ultraviolet radiation إلى الصورة القابلة للإستفادة من فيتامين د وهى فيتامين د Vitamin D_3 هذه الصورة تذهب للكبد عن طريق الدم حيث يضاف لها مجموعة هيدروكسيل لتتحول إلى $25 \text{ Hydroxyvitamin D}_3$ وهى صورة لها نشاط ضعيف وتذهب إلى الكلية عن طريق الدم حيث يضاف لها مجموعة هيدروكسيل ثانية لتصبح الصورة النشطة من فيتامين د وهى $1,25 \text{ Dihydroxyvitamin D}_3$ وهى عبارة عن هرمون إسترويدي تركيزه يخضع للتنظيم الفسيولوجى. فهرمون PTH ينشط إضافة مجموعة الهيدروكسيل الثانية بخلايا الكلية. ولذلك فكل من هرمون PTH والصورة النشطة لفيتامين د يسببان رفع كالسيوم الدم وعودته لتركيزه الطبيعى وتكرر أنه يتم هذا الضبط لتركيز أيون الكالسيوم فى الدم دقيقة بدقيقة (كل دقيقة تقريبا).

الباب الثالث عشر

الجهاز العصبى

The Nervous System

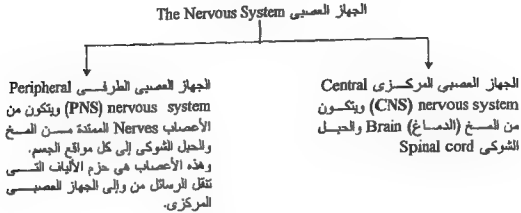
مقدمة Introduction يقوم الجهاز العصبى بوظائف متعددة ومختلفة وكثيرة. ويعتقد بعض العلماء أن لهذا الجهاز وظائف فى الإنسان غير موجودة فى الأنواع الأخرى. فيقوم هذا الجهاز فى الإنسان بترتيب المعلومات وربطها ببعضها حيث يستنتج منها معلومات أخرى كما يقوم بتكوين الأفكار ولذا يسمح هذا الجهاز للإنسان بالتفكير والتخطيط للمستقبل. وفى الإنسان أيضا يعتبر الجهاز العصبى هو مكان الأحلام Dreams والتصور Imagination ومكان التفكير Reasoning. كما يمكن الإنسان وبعض الحيوانات الأخرى من التمييز بين الصواب والخطأ وبين المنطقى والغير منطقى كما يعتبر هذا الجهاز مخزنا للمعلومات والذاكرة. بالإضافة إلى ذلك، فالجهاز العصبى هو المنشط للنشاطات التى تسمى بالسلوك الإنسانى Human behavior والتى تشمل الإبتسام والمشى والشعور بالغضب والتطلع للمستقبل والأفكار والذاكرة.

والجهاز العصبى عبارة عن وحدة واحدة وهو جهاز متحكم حيث يتحكم فى العضلات والغدد وأعضاء الجسم المختلفة، كما يتحكم فى نبض القلب والتنفس والهضم وإخراج البول كذلك يعمل الجهاز العصبى على تنظيم سريان الدم كما يساعد على تنظيم التركيز الإسموزى للدم Blood osmotic concentration... الخ. ولقيام هذا الجهاز بجميع هذه الوظائف فإنه لابد أن يستقبل معلومات أو عوامل واردة من عدد كبير من المصادر. وهذه العوامل الواردة إما أن تكون من داخل الجسم نفسه أو كنبضات حسية من البيئة المحيطة حوله.

هذا ويتشابه الجهاز العصبى فى الإنسان والحيوان وهو يتكون من شبكة مذهشة من الخلايا والتى تسمح للإنسان بالتصور والتنفيذ ولا يشبه الإنسان فى هذه الخصائص إلا أنواع أخرى قليلة، فمقدرة عقل الإنسان على التصور وجلبته مقدرته أيضا على التنفيذ تدم بقوة هائلة من الصعب السيطرة عليها، ومثالا لذلك فقد تمكن الإنسان من شطر الذرة والنواة لتوليد الطاقة، والتى يمكن أيضا أن تستغل لتكثف البشرية. هذا وقد أدركت البشرية الآن أن التغيرات العميقة التى أحدثها الإنسان فى كوكب الأرض أصبحت تهدد مستقبلنا على المدى البعيد، ولذلك فعقل الإنسان يعتبر سلاح ذو حدين فهو يعطيه القدرة على الهدم والبناء معا.

وكما ذكرنا فالجهاز العصبي يتكون من وحدة واحدة لكننا نقسمه إلى أجزاء أو أقسام حتى يسهل

دراسته.



PNS
وهو عبارة عن ١٢ زوج من الأعصاب
الدماغية (أو المخية) Cranial nerves و ٣١
زوج من الأعصاب الشوكية Spinal nerves
وينقسم إلى جزئين

الجهاز العصبي الذاتي Autonomic nervous system
وهو الجزء من الجهاز العصبي الطرفي الذي يتحكم في الوظائف اللاإرادية مثل معدل نبض القلب والتقلص وحركة المعدة والأمعاء... الخ. كذلك يشترك في حركة التغذية الراجعة Feedback loops.

الجهاز العصبي الجسدي Somatic nervous system
وهو الجزء من الجهاز العصبي الطرفي الذي يتحكم في الوظائف الإرادية Voluntary functions مثل انقباض العضلات التي تؤدي إلى حركة الأطراف مثلا

نظرة على الجهاز العصبي ككل : An Overview Of The Nervous System

بطبيعة الحال الجهاز العصبي هو الذي يجعل الإنسان أو الحيوان يستجيب للمنبهات الداخلية والخارجية. والجهاز العصبي المركزي يستقبل كل المعلومات الحسية من الجسم، فمثلا في هذه اللحظة فإن جهازك العصبي المركزي CNS يستقبل نبضات حسية Sensory impulses من المستقبلات وهذه المستقبلات تنقل لك الإحساس بلمس صفحات الكتاب ودرجة حرارة الغرفة والأصوات خارج الغرفة كما تنقل لك إنطباعات عن الصور المرئية وبعض الكلمات في الكتاب. وهذه

المعلومات تعامل في الجهاز العصبي المركزي CNS وبعض المعلومات تخزن في الذاكرة وبعضها قد يتم تجاهلها أو إعتراض سبلها. وبعض التنبهات قد تثير إستجابات فسيولوجية فمثلا قراءة جزء مشير أو رؤية حادث قد يسرع من نبض القلب، كما أن قراءة أشياء مخيفة أو التعرض لرؤيتها قد تجعل الشخص يكتمش خوفا. والمخ (الدماغ) Brain يستجيب إلى التنبهات بإرسال نبضات عصبية على إمتداد الأعصاب إلى الأعضاء المستجيبة أو المنفذة (Effectors) وقد تكون هذه الأعضاء المنفذة عدد أو عضلات...الخ أو بمعنى آخر فإن هذه الأعصاب تحمل نوعين من المعلومات أو النبضات وهي :

١- نبضات حسية **Sensory impulses** وهذه تنتقل إلى الجهاز العصبي المركزي من المستقبلات الحسية في الجسم حيث تسبب أو تنشيط إحداث نوع ثاني من النبضات وهو ٢- نبضات حركية **Motor impulses** وهي تنتقل بعيدا عن الجهاز العصبي المركزي إلى الغدد والأعضاء والعضلات. والمعلومات الحسية التي تصب في الجهاز العصبي المركزي تتنمذج مع المعلومات المخزنة في الذاكرة. ولذلك فإن حقيقة جديدة قد تسبب تنشيط إسترجاع ذكريات عن معلومات سابقة الأمر الذي يجعل اللرد يفكر في مشكلة معينة بطريقة جديدة.

والذاكرة أيضا تؤثر على طريقة إستجابتنا لتكليه معين ولنضرب لك مثلا فنعنما يداهلك أو يلمس أرجلك طفل فإنه يتبسم وذلك لأنه يتذكر طفل موجود بالمنزل هذا بخلاف أن ترى ثعبان أو فأر يلمس أرجلك مثلا. وخلاصة القول أن الجهاز العصبي المركزي CNS يستقبل كل المعلومات الحسية ويمسكها مع بعضها ثم يستجيب لها بأن ينشط إحداث نبضات حركية، أما الجهاز العصبي الطرفي فيقوم بحمل النبضات الحسية من وإلى الجهاز العصبي المركزي، وبالتالي فيمكن القول أن النبضة الحسية تتحول لنبضة حركية وفي بعض الأحيان يؤثر على نوع النبضة الحركية هذه نوعية المعلومات المخزنة في الجهاز العصبي للرد.

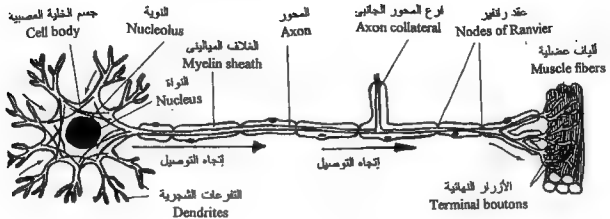
النسيج العصبي Neural Tissue : النسيج العصبي يتكون من نوعين من الخلايا هما أ- الخلايا العصبية و ب- الخلايا الداعمية.

١- الخلية العصبية **Neuron** : تعرف الخلية العصبية بأنها الوحدة الوظيفية والتركيبية للجهاز العصبي والتي تقوم بتوليد الإشارات الكهربائية **Electrical signals** وتوصلها إلى نهايتها الطرفية **Terminal end** حيث تقوم بإفراز ناقل عصبي **Neurotransmitter (or Neurohumor)** والذي يحدث له تكبير **Inactivation** في مكان إفرازه ليؤدي وظيفة معينة وهي نقل هذه الإشارات الكهربائية من خلية عصبية إلى خلية أخرى. وتختلف الخلايا العصبية إختلافات كبيرة في الشكل والحجم ولكنها

تتفق في أنها جميعا تتركب من أربعة أجزاء هي ١- جسم للخلية العصبية -٢- التفرعات الشجرية -٣- المحور -٤- نهايات المحور (شكل ٨-١١ الباب الثامن).

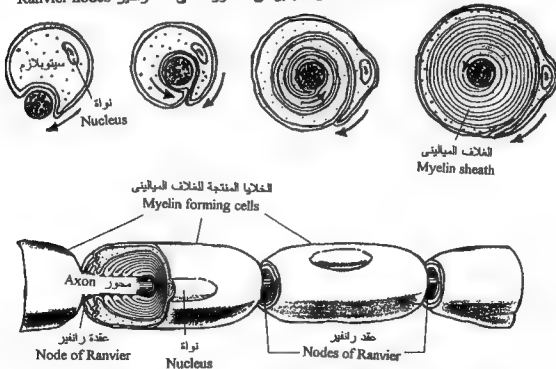
١- جسم الخلية العصبية **Nerve Cell Body** : يحتوى جسم الخلية العصبية على النواة ومعظم ميتوكلزوم الخلية وأيضا على العديد من عضيات الخلية الداخلية **Organelles**. كما يحتوى على الريبوسومات والتي تقوم بتخليق البروتين، حيث ينتقل هذا البروتين المخلق في أجسام الخلايا ولتركيب السيتوبلازمية أيضا إلى زوائد الخلية على الأخص لو كانت هذه الزوائد طويلة وهذا يسبب المحافظة على تركيب ووظائف هذه الزوائد ويسمى هذا النقل بالنقل المحوري **Axon transport**. وعلى الجانب الآخر فهناك نقل يحدث في الاتجاه المضاد أى من نهايات المحور لجسم الخلية وهذا النقل يحدث لعوامل النمو **Growth factors** وغيرها وهو أيضا الطريق الذى تسلكه سموم فيروسات التشنج العضلى **Tetanus** وشلل الأطفال لتصل إلى الجهاز العصبى المركزى **CNS**.

هذا والنشاط الأيضى (الميتابولزمى) في جسم الخلية العصبية يساعد هذه الخلية حيث يوفر الطاقة ويخلق المواد اللازمة لقيام الخلية بوظائفها الطبيعية ويجدر الإشارة أن هناك أيضا عضيين داخلين في جسم الخلية لهما أهمية خاصة وهما الأنابيب الدقيقة **Microtubules** والخيوط الدقيقة **Microfilaments** وهى تكون الهيكل الخلوى **Cytoskeleton** للخلية العصبية وهى مسنولة عن الشكل المميز للخلية (راجع جدول ٣-١، شكل ٣-٧) -٢- التفرعات الشجرية **Dendrites** : وهى عبارة عن نموات تخرج من جسم الخلية العصبية (شكل ٨-١١ الباب الثامن) وتختلف هذه الزوائد فى الطول تبعاً لنوع الخلية العصبية وهى تقوم بنقل النبضات العصبية إلى جسم الخلية -٣- المحور **Axon** ويسمى أيضا الألياف العصبية **Nerve fibre** وهو يحمل النبضات العصبية بعيدا عن جسم الخلية العصبية. وتسمى قطعة المحور القريبة من جسم الخلية بالقطعة المبدئية **Initial segment** وهى أكثر قابلية للتهدج عن بقى المحور ولذلك فالإشارات تبدأ منها. ويخرج من المحاور أحيانا فروع جانبية تسمى فروع للمحاور الجانبية (أو الإضافية) **Axon Collaterals** (شكل ١٣-١) وعندما يصل المحور إلى وجهته فإنه غالبا ما يتفرع بكثافة حيث يعطى ألياف صغيرة عديدة والتي تنتهى بانتفاخات صغيرة تسمى الأزرار النهائية **Terminal boutons** أو الانتفاخات النهائية **Terminal bulbs** أو قد تسمى النهايات المحورية **Axon terminals** وهى التى تقوم بتخليق الناقلات العصبية **Neurotransmitters** المسؤولة عن مرور الإشارة إلى خلية عصبية أخرى أو إلى ألياف عضلية أو غدد. ويلاحظ أن بعض الخلايا العصبية لا تقوم بتخليق وإفراز الناقلات العصبية من نهايتها المحورية ولكن تقوم بذلك من إنتفاخات على طول المحور تسمى بالتمددات **Varicosities**.



شكل (١-١٣) : الشكل يوضح مكونات الخلية العصبية Neuron

ومعظم محاور الخلايا العصبية تغطى بغلاف دهني يعمل كطبقة واقية يسمى الغلاف المياليني (أو الغلاف اللخاعي) Myelin sheath (شكل ١-١٣). والخلايا المنتجة لهذا الغلاف تلف أغشيتها حول المحور في طبقات تاركة مناطق خالية من الميالين في المحور تسمى عقد رانفيير Ranvier nodes



شكل (١-١٤) : الشكل يوضح طريقة تكوين الغلاف المياليني Myelinization
منقول عن مرجع رقم ٥ بقائمة المراجع

(أى أن هذه العقد لا يوجد بها خلايا مواليني) ويجدر الإشارة أن هذا الغلاف يمرر من مرور الإشارة العصبية على طول المحور. ولذلك فخلايا الجسم العصبية الغير موالينية تتنقل بها الإشارات بسرعة أبطأ من الخلايا الموالينية والخلايا المنتجة لهذا الغلاف هي خلايا غير موصلة موجودة في الجهاز العصبي وتسمى بالخلايا الصمغية أو الداعمية Glial cells حيث تقوم بدور مساعد في الجهاز العصبي. وفي الجهاز العصبي الطرفي تسمى الخلايا المنتجة للغلاف المياليني بخلايا شوان Schwann cells. وأثناء التطور الجنيني تتصل خلايا شوان بالمحور النامي ثم تبدأ في الدوران حوله (شكل ١٣-٧) ولإثناء قيامها بذلك فهي تترك خلفها أثرا من الغشاء البلازمي والذي يلتصق حول المحور مكونا طبقات عديدة متحدة المركز (شكل ١٣-٧). ولأن الغشاء البلازمي لخلايا شوان يتكون من ٨٠% ليبدات تقريبا لذلك فإن الغلاف المياليني يتكون معظمه من الدهن ويظهر بلون أبيض لامع للعين المجردة.

هذا ويوجد داخل كل المحاور Axons حزم من الأنابيب الدقيقة Microtubules والتي تقوم بنقل المواد الناتجة في جسم الخلية على طول محور الخلية. بالإضافة إلى ذلك فالأنابيب الدقيقة تلعب دور رئيسي في تطور المحاور نفسها، فالخلايا العصبية تنشأ كخلايا مستديرة غير مميزة لكن تبدأ الأنابيب الدقيقة في النمو والخروج من الميتوبلازم وبالتالي تتكون من المحاور عندما تتدفع هذه الأنابيب الدقيقة لتكون المحاور التي تصل المخ والحبل الشوكي بالفخذ والعضلات والأعضاء المختلفة أو التي تصل أيضا الجهاز العصبي المركزي CNS بمنطلق أخرى لدخل الجهاز العصبي المركزي نفسه كما تصل أجزاءه المختلفة ببعضها.

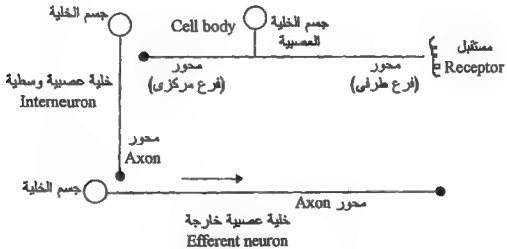
أنواع الخلايا العصبية Types Of Neurons : يمكن تقسيم الخلايا العصبية طبقا لوظيفتها إلى ثلاثة أنواع هي ١- الخلايا العصبية لداخله ٢- الخلايا العصبية الخارجة ٣- الخلايا العصبية الوسيطة.

١- **الخلايا العصبية الداخلة Afferent Neurons :** وتسمى أيضا خلايا عصبية حسية Sensory Neurons وهذه الخلايا تحتوي على مستقبلات حسية Sensory receptors في نهايتها الطرفية تقوم عن طريقها بنقل المعلومات من أنسجة وأعضاء الجسم إلى الجهاز العصبي المركزي. وهذه الخلايا لا يوجد بها تفرعات شجرية، لكن يخرج من جسمها محور واحد يتفرع بعد مسافة قصيرة من جسم الخلية إلى تنوء أو فرع طرفي Peripheral process حيث يوجد المستقبل في نهاية هذا الفرع، وتنوء أو فرع وسطي Central process يدخل جزء منه فقط إلى الجهاز العصبي المركزي ويكون إتصال مع خلايا عصبية أخرى. ولهذه الخلايا القدرة على إكتشاف التغيرات الطبيعية والكيميائية المختلفة في بيئتها ومن ثم تكوين إشارات كهربائية تصل إلى الجهاز العصبي المركزي (شكل ١٣-٣).

٢- **الخلايا العصبية الخارجة Efferent Neurons** : وتسمى أيضا خلايا عصبية حركية **Motor Neurons** وهذه الخلايا تنقل الإشارات العصبية من الجهاز العصبي المركزي إلى الأعضاء المستجيبة **Effector organs** (خلايا العضلات والغدد... الخ) وأجسام هذه الخلايا وزوائد الشجرية تقع في داخل الجهاز العصبي المركزي **CNS** (شكل ١٣-٢). وتمتد محاور هذه الخلايا خارج الجفء العصبي المركزي لتكون مع محاور الخلايا العصبية الداخلة (بخلاف الجزء الموجود منها داخل الـ **CNS**) أعصاب الجهاز العصبي الطرفي **PNS**

٣- **الخلايا العصبية الوسيطة Inter Neurons** : وتسمى أيضا بالخلايا العصبية الموحدة أو الملتصقة **Association Neurons** وهي تقع بين الخلايا العصبية الداخلة والخارجة (شكل ١٣-٣). وهي خلايا عصبية تقع بكاملها داخل الجهاز العصبي وتبلغ نسبتها ٩٩% من مجموع الخلايا العصبية، وهذه الخلايا ذات خواص فيسيولوجية واسعة ولها أشكال عديدة وتركييب كيميائية كثيرة. وتقوم هذه الخلايا بنقل للنهضات العصبية مباشرة من الخلايا العصبية الحسية إلى الخلايا العصبية الحركية وكذلك قد تنقل للنهضات العصبية إلى أجزاء أخرى من الجهاز العصبي المركزي. وتلعب هذه الخلايا دورا هاما في تنسيق النشاطات المعقدة - وهي شبكة الإتصالات العصبية التي ترسل للنهضات العصبية من أحد أجزاء الجهاز العصبي المركزي إلى جزء آخر للحصول على مجهودات مترابطة منسقة.

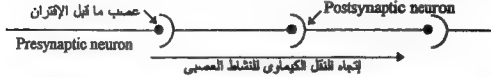
ونسبة تواجد هذه الخلايا بالنسبة لبعضها البعض تمثل ١ : ١٠ : ٢٠٠ ألف للخلايا الداخلة والخارجة والوسيطية على التوالي .



شكل (١٣-٢) : يوضح أنواع الثلاثة أنواع الوظيفية للخلايا العصبية.

ويجب ملاحظة أن كل خلية عصبية تعتبر وحدة تشريحية قائمة بذاتها أي أن الخلايا العصبية لا تتصل مع بعضها تشريحياً، ولكنها تتصل مع بعضها كيميائياً من خلال الناقلات العصبية Neurotransmitters. ولينصاً تتصل الخلية العصبية الخارجة مع الأعضاء المستجيبة من خلال الناقلات العصبية أيضاً.

ونقطة الاتصال الكيماوي بين الخلايا العصبية تسمى بنقطة التشابك أو الإقتران Synapses وهي تتكون من جزئين الأول وهو النهايات الطرفية Axon terminals لمصّب ما قبل الإقتران Presynaptic neuron والثاني وهو السطح الخارجى لجسم الخلية التالية للإقتران Postsynaptic neuron كما هو موضح بالشكل التالي :



ونقطة الإقتران هذه إما أن تكون محورية جسمية Axo-Somatic أو قد تحدث بين محورين لخلايتين عصبيتين (محورية محورية Axo-axonic) أو قد تكون بين تفرعين شجريين Dendro-dendritic أو قد تكون بين تفرع شجري وجسم خلية Dendro-somatic والشكل السابق يوضح كيف أن خلية عصبية قد تكون تالية للإقتران وتصل كمصّب ما قبل الإقتران. ويجب ملاحظة أن الخلية العصبية التالية لنقطة إقتران قد تحتوي على آلاف من نقاط الإقتران العصبية Synaptic junctions مما يجعلها تتأثر بالعديد من الإشارات التي تصلها أعصاب ما قبل الإقتران ومثلاً لذلك فبعض خلايا المخ بها أكثر من ١٠٠ ألف نقطة إقتران عصبية.

هذا وهناك بعض خصائص مميزة للخلايا العصبية Special characteristics of neurons فهي مثل معظم الخلايا تختلف تشريحياً عن مصادرنا الجنينية أثناء التشكل الخلوي كما تفقد قدرتها على الانقسام. ولذلك فالخلية العصبية التي تموت لا يمكن تعويضها عن طريق إنقسام خلية عصبية أخرى، ونتيجة لذلك فإن إصابة الخلايا العصبية ينتج عنه غالباً تلف مستديم. لكن عند قطع المحور العصبى Axon يمكن لباقي المحور المتصل بجسم الخلية العصبية أن يمتد مرة أخرى ليوصل لمكانه الأول بشرط سلامة جسم الخلية العصبية. ويجانب ذلك فإن معدل التمثيل الغذائي للخلية العصبية غير عادي ومرتفع بدرجة كبيرة جداً لذا تحتاج الخلايا العصبية إلى كميات كبيرة من العناصر الغذائية وإمداد مستمر من الأكسجين. وإذا نقصت كمية الأكسجين الواردة للمخ بدرجة كبيرة تبدأ الخلايا العصبية في الموت في دقائق قليلة (مثلاً يحدث في حالة الفرق أو الصمق بالتأثير الكهربائي). ولذلك ففي حالة لفرق أو الصمق بالتأثير الكهربائي يجب إعمال الضحية في حدود ٣-٥ دقائق على الأكثر.

ويستثنى من قاعدة الثلاث لخمس ذلكلقد هذه حالة حدوث الفرق في ماء مقلج فيمكن إتمام الضحية في هذه الحالة بنجاح في حدود ساعة بدون تدمير في المخ والسبب في ذلك أن الماء البارد يسبب بطء التمثيل الغذائي في المخ وبالتالي نقص حاجته من الأكسجين بدرجة كبيرة، وبالتالي يتم حماية خلاياه من التدمير.

وإذا نية أخرى تميز الخلايا العصبية فهي تمتد كلية على الجلوكون لإنتاج الطاقة ولا تستخدم الأحماض الدهنية لتوليد الطاقة كبقية الخلايا الأخرى. وخلايا الجسم لا يحدث لها ضرر كنتيجة لنقص جلوكوز الدم حيث تتحول إلى إستخدام الدهون والبروتينات كمصدر للطاقة. أما الخلايا العصبية فهي أول الخلايا التي تتأثر بنقص جلوكوز الدم وفي الأمور العادية يمنع نقص سكر الدم بواسطة آليات الإرتزان الداخلي التي ذكرناها سابقاً. لكن في حالة مرضى البول السكري فقد ينخفض مستوى جلوكوز الدم بدرجة خطيرة عندما يتم حقن المريض بجرعات عالية من هرمون الإنسولين. وعند حرمان خلايا المخ من الجلوكوز قبلها تصاب بالخلل ويصاب الشخص بالدوار والضعف وعدم وضوح الرؤية واضطراب في الكلام، كما قد ينتج عن ذلك صداع ويصبح الشخص عدواني Aggressive وبعض حالات نقص سكر الدم قد تسبب تشنجات والوفاة.

ويكتمل إنقسام الخلايا العصبية قبل الولادة ولا تتكون خلايا عصبية جديدة تحل محل الخلايا التي تموت.

أما منشأ الجهاز العصبي فهو من طبقة الأكتوديرم Ectoderm الجنينية وينشأ عن طريق إنقسام الخلايا العصبية الجرثومية Neuroblasts وبعد إكتمال الإنقسام تهاجر الخلايا إلى مكائنها النهائية وتتمو عليها زوائد تتحول إلى محاور وتفرعات شجرية. وعند طرف كل زائدة يتكون تضخم يسمى مخروط النمو Growth cone وهو يوجه نمو الخلية العصبية للوجه الصحيح وذلك بمشاركة الخلايا الداعمة. ويسبب هرمون الثيروكسين Thyroxine إنتاج عامل نمو الأعصاب Nerve Growth Factor ويتم إنتاج هذا العامل في السائل المحيطة بمخروط النمو وهذا العامل يشجع نمو النسيج العصبي بعد ذلك تتكون نقاط الإرتزان العصبي.

والجهاز العصبي للجنين يتأثر كثيراً بالكحولات والفيروسات والإشعاع والتي تسبب غالباً موت الخلايا العصبية.

ب- الخلايا الداعمة Glia Cells : نسبة الخلايا العصبية في الجهاز العصبي المركزي تبلغ حوالي ١٠٪ لكنها تمثل ٥٠٪ من حجمه أما باقي خلايا الـ CNS فيتكون من الخلايا الداعمة Glia cells وهي متفرعة ولكن بدرجة أقل من الخلايا العصبية ويوجد عدة أنواع من الخلايا الداعمة هي :

١- الخلايا الداعمة القليلة التفرع Oligodendroglia وهي تكون الغلاف المياليني المغطى لمحاور

الخلايا العصبية بالجهاز العصبي المركزي CNS -2- الخلايا الداعمة النجمية Astroglia وتقوم بالمحافظة على تركيب السائل الموجود بين الخلايا العصبية في الجهاز العصبي المركزي حيث تزيد منه أيونات البوتاسيوم والناقلات العصبية، كما تقوم بإمداد الخلايا العصبية بالجلوكوز وتخلصها من الأمونيا بالإضافة إلى ذلك فهي تقوم بإفراز عوامل نمو Growth factors تنشط نمو الخلايا العصبية ونمو محاورها وتفرعاتها الشجرية.

كيف تعمل الخلايا العصبية : How Nerve Cells Work

تقوم الخلايا العصبية بنقل النبضات الكهربائية الحيوية Bioelectric impulses من مكان في الجسم إلى مكان آخر وتعمل هذه النبضات العصبية على إبقاء الفرد مدرك لبيئته الداخلية والخارجية وتساعد على عمل عدة آلاف من التعديلات للترجمة للبقاء في بيئة ومجتمع دائم التغير.

النبضة الكهربائية الحيوية The Bioelectric Impulse : النبضة الكهربائية الحيوية (النبضة العصبية) تختلف عن النبضات الكهربائية التي تنتقل على امتداد سلك كهربائي. فالتيار الكهربائي الذي يمر في سلك يتكون بواسطة سريان الإلكترونات لدخل المملك الكهربائي. بينما النبضات العصبية عبارة عن تغيرات أيونية صغيرة في غشاء الخلية العصبية وهذه التغيرات تنتقل على امتداد الخلية العصبية مثل أمواج البحر المتجهه إلى الشاطئ. وللتغيرات الأيونية التي تحدث في غشاء الخلية هذه يطلق عليها النبضات العصبية أو النبضة العصبية الحيوية أو النبضة الكهربائية الحيوية Bioelectric impulse حيث تسمى بهذه الأسماء لتمييزها عن الكهرباء.

ولكى نفهم النبضة في الخلية العصبية (النبضة الكهربائية الحيوية). يجب أن نلم أولاً ببعض القواعد الأساسية لطعم الكهرباء Basic principles of electricity فكما ذكرنا من قبل أن الجزيئات التي تحمل أعداد متساوية من الإلكترونات (-) والبروتونات (+) تعتبر جزيئات متعادلة كهربائياً - لكن هناك جزيئات أخرى تحمل شحنات نظراً لإحتوائها على مجموعات مثل مجموعة الكربوكسيل السالبة $RCOO^-$ أو مجموعة الأمين الموجبة RNH_3^+ . أما المعادن فتوجد في المحاليل في صورة متأينة حيث تكون إما موجبة (كاتيونات Cations) مثل K^+ & Na^+ أو سالبة (أنيونات Anions) مثل Cl^- والأحماض النووية $Large\ organic\ anions\ (A^-)$. وهنا يجدر الإشارة أن غشاء الخلية Plasma membrane يفصل سوائل خارج الخلايا Extracellular Fluids (ECF) عن سوائل داخل الخلايا Intracellular Fluids (ICF). والـ BCF والـ ICF يختلفان عن بعضهما في نوع وتركيز الأيونات الموجودة بكلاً منهما فالـ ICF يحتوى على تركيزات عالية من K^+ والأنيونات العضوية كبيرة الحجم (A^-) خاصة البروتينات والفوسفات $ATP\ \&\ ADP$ ، بينما يحتوى ECF على

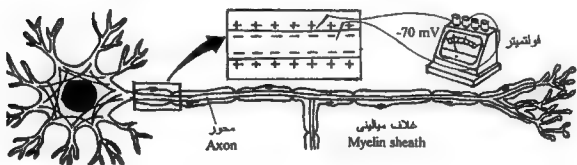
تركيزات عالية من Na^+ و Cl^- . وعلى ذلك فنظام توزيع هذه الأيونات في داخل وخارج الخلية يجعل الغشاء الخلوي في حالة إستقطب **Polarized** هذا الإستقطب سببه وجود تركيزات عالية من الشحنات الموجبة على السطح الخارجي للغشاء الخلوي ووجود تركيزات عالية من الشحنات السالبة على السطح الداخلي للغشاء الخلوي. وبالتالي فهذه الشحنات المنفصلة عن بعضها والمتضادة أيضا تسبب توليد فرق جهد كهربائي **Electrical potential difference** عبر الغشاء الخلوي يمكن قياسه بالميليفولت. ولذلك لمعد وضع قطب كهربائي **Electrode** على السطح الخارجي لغشاء الخلية العصبية البلازما ووضع **Electrode** آخر لدخل الغشاء (على الجانب الآخر من الغشاء. ووصلهما بجهاز لقياس الفولت **Voltmeter** فيمكن في هذه الحالة قياس قوة فولتيه صغيرة (القوة الفولتيه هي القوة المحركة الكهربائية أو هي قياس ميل الجسيمات الحاملة للشحنة للمرور من قطب في البطارية القطب الآخر). وهذه القوة الفولتيه تشبه تلك التي تقاس في بطارية كهربائية. والفارق بين البطارية والخلية العصبية هنا هو أنه في الخلية العصبية لا تنتقل الإلكترونات من أحد جانبي الغشاء إلى الجانب الآخر لكن التي تنتقل هي الأيونات ومن أهمها أيون الصوديوم. وبالتالي ففرق الجهد هنا بالنسبة للخلية العصبية هو مقدار القوة التي ستدفع أيونات الصوديوم من أحد جانبي الغشاء إلى الجانب الآخر.

جهد الغشاء الخلوي وقت الراحة **Resting Membrane Potential** واللبعض يسميه أيضا

جهد الغشاء **Membrane potential** لو قد يسمى أيضا جهد الراحة **Resting potential** (شكل

١٣-٤) حيث أنه جهد الغشاء في خلية وقت الراحة. وفرق الجهد في الخلية العصبية يساوي تقريبا -

٦٠ ميليفولت (**60 Millivolts (mv)** - (هو يراوح ما بين -٤٠ إلى -٧٥ ميليفولت **mv** و **mv**



شكل (١٣-٤) : الشكل يوضح جهد الغشاء الخلوي وقت الراحة **Resting potential** وانه يوضح عند ٧٠ إلكترون

ولقد على كل جانب من جوانب الخلية حيث يتم قياس فرق جهد قدره -٧٠ ميليفولت. منقول عن مرجع رقم ٣ بقائمة المراجع.

يساوى ١٠٠٠/١ من الفولت). ومعظم السائل لدخل وخارج الخلية متبادل كهربائيا، ولكن نظرا لوجود زيادة في الشحنات الموجبة خارج الخلية وزيادة في الشحنات السالبة داخل الخلية، لذلك فإن الشحنات السالبة تتجمع في قشرة رقيقة على سطح الغشاء البلازمي الداخلى والشحنات الموجبة تتجمع فى قشرة رقيقة على سطحه الخارجى. وسبب إضافة علامة السالبة (60 mv-) هو كما ذكرنا أن الغشاء موجب للشحنة فى الخارج وسالب الشحنة فى الداخل (شكل ١٣-٤) ولأن تركيز أيونات الصوديوم أعلا فى سائل الأنسجة المحيطة بالخلية العصبية (خارج الغشاء الخلوى). لذلك يكون الخارج موجب الشحنة. ودخل الخلية يكون سالب الشحنة لأن تركيز الجزيئات العنوية الكبيرة السالبة للشحنة أعلا فى داخل الخلية عنه خارج الغشاء الخلوى. وتستهلك الخلايا العصبية كمية من الطاقة للمحافظة على هذا الاختلاف فى إيزان التركيز. فالخلية العصبية تستهلك طاقة أثناء عمليات النقل للنشط عبر الغشاء الصيتوبلازمى والى تنقل أيونات الصوديوم من الصيتوبلازم إلى السائل المحيط بالخلايا وبهذه الطريقة فهى تحافظ على تركيز أيونات الصوديوم فى الخارج. وبالتالي فالمفروض أن الأيونات السالبة للشحنة يجب أن تمر عبر غشاء الخلية وتتبع أيونات الصوديوم خارج الغشاء وذلك للمحافظة على التبادل الكهربائى حتى تسبب إيزان للأيونات الموجبة والسالبة للشحنة. ولكن الذى يمنع ذلك أن كثير من الأيونات السالبة للشحنة عبارة عن جزيئات كبيرة مثل البروتينات والى لا تستطيع المرور عبر غشاء الخلية لكبرها، بالإضافة إلى ذلك تضرب الصوديوم عبر غشاء الخلية إلى الداخل يتم ببطء شديد. وخلاصة القول أن الأيونات الموجبة تمر ببطء شديد لدخل الخلية والأيونات السالبة لا تستطيع المرور إلى خارج الخلية ولهذا الأسباب يتم المحافظة على الاختلاف فى الشحنات Charge difference. ويحتوى غشاء البلازما على شحنة معبأه من أيونات الصوديوم فى خارجه وعند تنشيط المصب يحدث تغير سريع فى الغشاء لتفريغ حملة. ولول تغير يحدث فى الغشاء هو زيادة تفرائته لأيونات الصوديوم حيث تقوم هذه التنبهات بفتح قنوات بروتينية يمر من خلالها الصوديوم حيث يسمح ذلك بسرير الأيونات الصوديوم الموجبة الشحنة إلى داخل الخلية.

هذا ويتوقف جهد الغشاء الخلوى وقت الراحة على عاملين هما : ١- الفرق فى تركيز الأيونات داخل وخارج الخلية ٢- تفرائية للغشاء الخلوى لهذه الأيونات. والجدول التالى (جدول ١٣-١) يوضح تركيزات العناصر الرئيسية المؤثرة على جهد الغشاء الخلوى وقت الراحة.

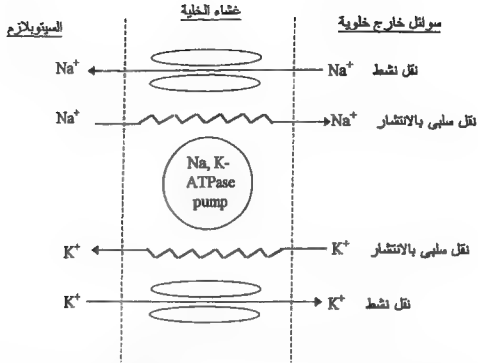
ويتضح من الجدول (جدول ١٣-١) أن السائل خارج الخلية ECF غنى بالصوديوم والكلوريد وأن السائل داخل الخلية ICF غنى بالبوتاسيوم. ويجب الإشارة إلى أنه توجد أيونات أخرى عديدة مثل المغنسيوم Mg^{++} والكالسيوم Ca^{++} والهيدروجين H^{+} والـ HPO_4^{-} والـ SO_4^{-} ولحماض

جدول ١٣-١ : توزيع الأيونات الرئيسية حول غشاء الخلية العصبية :

التركيز بالمليمول لكل لتر mmol/L		نوع الأيون
خارج الخلية	داخل الخلية	
١٥٠	١٥	صوديوم Na^+
٥	١٥٠	بوتاسيوم K^+
١١٠	١٠	كلوريد Cl^-

أمنية أخرى وبرتات. لكن الصوديوم والبوتاسيوم والكلوريد هم الأعلى في التركيز ولذا ذكرنا أنهم الأيونات الأساسية في إنشاء جهد الغشاء الخلوي وقت الراحة.

وبناء على المعلومات السابقة التي ذكرناها بالنسبة لجهد الغشاء الخلوي وقت الراحة Resting membrane potential يمكننا الآن مناقشة ماذا يحدث في الخلايا العصبية وقت الراحة. فكما ذكرنا تحتوي الخلية العصبية بداخلها على تركيز عالي من أيونات البوتاسيوم بينما يحتوي المسائل الخارج خلوي ECF (حول غشاء الخلية) على تركيز عالي من أيونات الصوديوم. ويجب أن نشير هنا أن لفانية غشاء الخلية العصبية لأيون البوتاسيوم حوالي ٥٠ إلى ٧٠ ضعف تفانيته لأيون الصوديوم. وكما ذكرنا من قبل فجهود الغشاء الخلوي وقت الراحة يتراوح ما بين -٤٠، -٧٥ مليفولت (-) (40 - 75 mv) وهو لا يساوى طهما جهد إتران البوتاسيوم ولا الصوديوم. ولذلك ففي وقت الراحة يوجد إنتشار صافى للصوديوم إلى داخل الخلية وإنتشار صافى للبوتاسيوم إلى خارج الخلية وبالرغم من ذلك لا تتزايد تركيزات الصوديوم أو تنقص تركيزات البوتاسيوم داخل الخلية والسبب في ذلك (أو الذي يقوم بهذا العمل) هو آلات النقل النشط Active transport mechanisms الموجودة في غشاء الخلية العصبية والتي تضع الصوديوم إلى خارج الخلية وتعيد البوتاسيوم إلى داخل الخلية (لاحظ أنه في وقت الراحة ينتشر أيون البوتاسيوم (بالنقل السالب) من داخل الخلية إلى خارجها مدفوعا بقوة فرق التركيز بين داخل الخلية العصبية وخارجها عبر غشاء الخلية العالي للفانية لهذا الأيون). ويجدر الإشارة هنا أن النقل النشط بالنسبة لأيونين يكون مرتبطا لأنهما ينتقلان بواسطة $Na, K ATPase$. كما يجب الإشارة أيضا أنه في وقت الراحة لا تتغير تركيزات الصوديوم والبوتاسيوم بداخل الخلية نظرا لتساوى عدد الأيونات التي تنتشر بالنقل السالب مع تلك التي تنتقل بالنقل النشط (شكل ١٣-٥). ولذلك فطالما استمرت كلا من قوة فرق التركيز وفانية الغشاء البلازمي ثابتتان يظل أيضا جهد الغشاء الخلوي وقت الراحة ثابتا. ويجدر الإشارة هنا أن هذه الحالة من الثبات تعنى حالة



شكل (١٣-٥) : ديجرام يوضح إنتقال الصوديوم والبوتاسيوم عبر غشاء الخلية العصبية الخلوى. (السهم المستقيم → يعنى النقل النشط Active transport والسهم ~~~~~ يعنى النقل السلبي بالانتشار).

الإستقرار Steady state ولا تعنى حالة إتزان Equilibrium state لأن الإتزان يتطلب طاقة فى صورة مضخة الصوديوم والبوتاسيوم.

ومضخة Na, K ATPase تحافظ على قوة فرق التركيز للأيونات كما تساهم فى الفصل المباشر للشحنات وبالتالي تؤدي إلى خلق فرق جهد Potential difference كهربى عبر غشاء الخلية. فهذه المضخة لو كانت تقوم بنقل أعداد متساوية من أيونى الصوديوم والبوتاسيوم عبر غشاء الخلية للبلازما فىهى لا تسهم فى هذه الحالة فى عملية فصل الشحنات عبر غشاء الخلية، أما لو كانت لا تنقل أعداد متساوية من الأيونات فى هذه الحالة تسبب للفصل المباشر للشحنات وتسمى المضخة المولدة للكهرباء Electrogenic pump. وبالتالي فمضخة Na, K ATPase مولدة للكهرباء وسبب ذلك أنها تحرك ٣ أيونات صوديوم إلى خارج الخلية مقابل عدد إثنين أيون بوتاسيوم تحركهم إلى داخل الخلية، وهى بذلك لا تنقل أعداد متساوية من الأيونات مما يؤدي وبطريقة مباشرة إلى فصل الشحنات عبر غشاء الخلية ويجعل جهد الغشاء أكبر حيث ينقل ٣ شحنات موجبة خارج الخلية مقابل شحنتين موجبتين فقط إلى داخلها. ونسبة هذا الإسهام لمضخة Na, K ATPase فى توليد الكهرباء قليلة فى

معظم الخلايا. أما النسبة الكبيرة لإسهام مضخة $\text{Na}^+, \text{K}^+ \text{ATPase}$ فى توليد الكهرباء فهو إسهامها الغير مباشر عن طريق حفاظتها على تركيز الأيونات داخل وخارج الخلية المعصية مما يسودى إلى وجود قوة فرق التركيز التى تسبب إنتشار الأيونات والذى ينتج عنه معظم الفصل فى الشحنتات عبر غشاء الخلية.

أما بالنسبة لأيون الكلوريد لمعظم الخلايا لا تحتوى على مضخات لنقله لكن أغشيتها نفاذه له. وبالتالي فهذا الأيون يتوزع داخل وخارج الخلية تبعاً لجهد الغشاء الخلقى، ولذلك فهو لا يساهم فى إنشاء جهد الغشاء الخلقى. وعند غرس أقطاب كهربائية **Electrodes** فى خلية عصبية فإنه يحدث تدفق مفاجئ وسريع لأيونات الصوديوم إلى داخل الخلية وبالتالي يحدث تحول فى جهد الراحة من - ٦٠ ملوفولت إلى +٤٠ ملوفولت. وهذا التحول فى الفولتية يحدث عند مكان التثبيط ويسمى إزالة الإستقطاب **Depolarization** ويستخدم مصطلح إزالة الإستقطاب لوصف النص الذى يحدث فى جهد الغشاء الخلقى عنه فى وقت الراحة. كما يصف أيضاً انعكاس الشحنتات حيث يصبح داخل الخلية موجبا وخارجها سالبا. كما يعنى أيضا تحرك فرق جهد الغشاء الخلقى تجاه جهد إتزان الصوديوم. ويحدث فوراً بعد إزالة الإستقطاب أن يعود غشاء الخلية إلى حالته السابقة بعملية تسمى إعادة الإستقطاب **Repolarization** ويقصد به عودة جهد الغشاء الخلقى فى إتجاه جهد الراحة بعد نقص أو زيادة إستقطابه.

ويجدر الإشارة هنا أن مصطلح زيادة الإستقطاب **Hyperpolarization** يعنى أن جهد الغشاء الخلقى يصبح فيه أعلى منه وقت الراحة (أى أكثر سالبية) أى فى إتجاه جهد إتزان البوتاسيوم. والتغيرات المؤقتة التى تحدث فى جهد الغشاء الخلقى والتى تجعل جهده مختلفاً عن جهده فى حالة الراحة تسبب تكوين إشارات عصبية **Nerve signals** وهذه الإشارة العصبية يمكنها تغيير النشاط الخلقى.

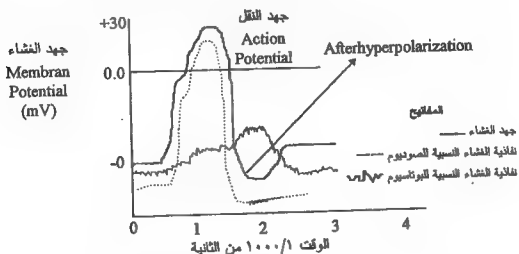
وهذه الإشارات العصبية **Nerve signals** تحدث فى صورتين. الصورة الأولى وهى مُدرج **Graded Potential** وهذه هامة فى نقل الإشارة العصبية لمسافة كبيرة وتخبر الجهد عبارة عن تغيرات تزدى (إما إلى نقص أو زيادة إستقطاب الغشاء الخلقى فى منطقة صغيرة حيث تنتهى بعد ١,٥ مم تقريباً. من مكان حدوثها وهذه التغيرات تحدث كنتيجة لتغيرات خاصة فى بيئة الخلية أو نتيجة لتأثير نوع معين من التنبيه. والخاصية المميزة لهذا للتغير فى جهد الغشاء الخلقى هى أن مقدار التغير فى جهد الغشاء الخلقى يعتمد على قوة التنبيه ومن هنا جاءت تسميته متدرج فكلما زاد التنبيه زاد التغير. هذا وتدرج للجهد يسمى طبقاً لمكان حدوثه أو وظيفته كان يسمى مثل **Receptor potentials or Synaptic potentials or Pacemaker potentials or End plate potentials**

والمصورة الثانية وهي **جهد الفعل Action Potential** وهي عبارة عن إشارات لمسافات طويلة فسي أغشية الخلايا العصبية والعضلية. فالأغشية الخلوية (البلازمية) خلايا الأعصاب والعضلات وبعض الغدد تكتج فعل جهد إستجابة للتنبية (إشارة Signal) أى أن هذه الأغشية لديها القدرة على التنبيع Excitable membrane. وعندما ينتج فعل الجهد هذا فى منطقة من غشاء الخلية فإنه ينتشر ذاتيا Propagation على طول غشاء الخلية. وجهد الفعل Action potential عبارة عن تغير فى جهد الغشاء الخلوى من -٦٠ مليفولت إلى +٤٠ مليفولت +40 mv وعودة جهد الغشاء الخلوى ثانية إلى حالة الراحة. ويحدث جهد الفعل بسرعة كبيرة حيث يعود الغشاء إلى حالة الراحة بسرعة فائقة (حوالى ١٠٠٠/٢ من الثانية) وهذه الإستعادة Recovery السريعة تسبب إمكانية تنشيط العصب بسرعات متوالية، كما تسمح للرد بالإستجابة للخطر بسرعة ويقوة وللقيام بحركات عضلية سريعة. ولأن عددا قليلا فقط من أيونات الصوديوم يتم تبادلها مع كل نبضة عصبية لذلك تستطيع الخلية العصبية نقل العديد من النبضات العصبية المتكررة.

إعادة الإستقطاب Repolarization أثناء إعادة الإستقطاب يحدث تغير فى فولتية الغشاء من +٤٠ مليفولت إلى -40 mv إلى -٦٠ مليفولت -60 mv. وإعادة الإستقطاب هذه ناتجة عن عاملين هما :
 ١- نقص مفاجئ فى نفاذية غشاء الخلية لأيونات الصوديوم مما يؤدي إلى منع دخول أيونات الصوديوم لداخل الخلية -٢- خروج سريع لأيونات البوتاسيوم الموجبة للشحنة. وبالتالي فكلا من هذين التغيرين يعملان على عودة جهد الراحة. وبعد إعادة الإستقطاب تقوم الخلايا العصبية بضخ أيونات الصوديوم إلى خارجها وضخ أيونات البوتاسيوم إلى داخل الخلايا (أى تعمل على إعادة تركيزات أيونات الصوديوم والبوتاسيوم) وبذا تحافظ على جهد الراحة Resting potential. هذا وتحتوى أغشية الخلايا العصبية على العديد من مضخات الصوديوم والبوتاسيوم مثل مضخة Na⁺ K⁺-ATPase والتي ذكرنا سابقا أنها تقوم بضخ الصوديوم خارج الخلية والبوتاسيوم إلى داخلها. ولذلك فالمضخات التى تقوم بالنقل النشط للصوديوم والبوتاسيوم تساعد الخلايا العصبية على إعادة حالة عدم الإيزان الكيمائى اللازم لقيام الخلية العصبية بوظيفتها الطبيعية.

العتبة أو البداية أو المستهل Threshold وهي جهد الغشاء الخلوى الذى يؤدي إنتاج لجهد Action potential يقل حوالى ١٥-٢٥ مليفولت عن جهد الغشاء الخلوى وقت الراحة أى يصبح حوالى من -٣٠ إلى -٥٠ مليفولت (-50 to -30) وتسمى قوة التنبية اللازمة لإحداث هذا النقص فى جهد الغشاء الخلوى بالتنبيه العتسى أو التنبيه البدائى أو التنبيه المستهل Threshold Stimulus. وإذا حدث هذا التنبيه العتسى فإن غشاء الخلية فى نقطة التنبيه تزداد نفائذته لأيونات

الصوديوم حوالي ٥٠٠ مرة دون حدوث تغير كبير في نفاذيته لأيونات البوتاسيوم. وبالتالي تنتقل نتيجة لذلك أيونات الصوديوم من خارج إلى داخل الخلية مدفوعة بقوة فرق التركيز ويؤدي ذلك إلى تراكم الشحنات الموجبة بداخل الخلية وبالتالي يحدث إنعكاس تلقائي للشحنات حيث يصبح داخل الخلية موجب وخارج الخلية سالب حيث يقل جهد الغشاء الخلوي إلى حوالي $+30$ mV متحركاً في اتجاه جهد إيزان للصوديوم لكنه لا يصل إليه. وتعرف هذه الحالة بأن الغشاء الخلوي أصبح ناقص أو صدم الإستقطاب Depolarized. وكما ذكرنا من قبل فالتغيرات التي تحدث في جهد الغشاء الخلوي مقارنة بما هو عليه وقت الراحة تسمى بجهد الفعل Action potential وهذا الجهد يستمر لفترة حوالي $1/1000$ من الثانية من الخلايا العصبية وأطول من ذلك في الخلايا العضلية. وبعد أن ينقص فرق جهد الغشاء الخلوي إلى $+30$ mV ميليفولت يعود بأسرع ما يمكن فرق جهد الغشاء إلى ما كان عليه وقت الراحة (من -40 إلى -70 ميليفولت) كنتيجة إغلاق ممرات الصوديوم التي كانت مفتوحة أثناء فترة نقص الإستقطاب مع فتح مجموعة خاصة من ممرات البوتاسيوم. والشكل ١٣-٦ يوضح للتغيرات التي تحدث في جهد الغشاء والتغيرات التي تحدث في نفاذية الغشاء لأيونات كلا من الصوديوم والبوتاسيوم أثناء جهد الفعل Action potential.



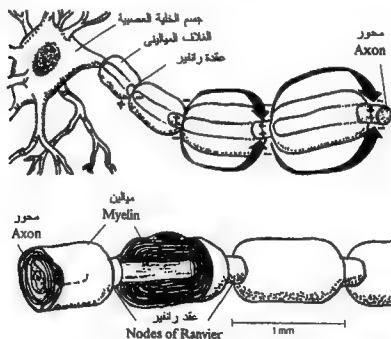
شكل (١٣-٦) : الشكل يوضح للتغيرات التي تحدث في جهد الغشاء والتغيرات التي تحدث في نفاذية الغشاء لأيونات كلا من الصوديوم والبوتاسيوم أثناء جهد الفعل Action potential.

وإغلاق ممرات الصوديوم مع فتح بعض ممرات البوتاسيوم يؤدي إلى إنتشار البوتاسيوم إلى خارج الخلية بدرجة أكبر من إنتشار الصوديوم بداخلها (بداخل الخلية) لذلك يصبح غشاء الخلية عالى الإستقطاب قبل أن يعود ثانية إلى حالة جهد الغشاء وقت الراحة وتسمى هذه الظاهرة بحالة بعد زيادة

الإستقطاب Afterhyperpolarization. وكما ذكرنا من قبل فإعادة جهد الغشاء الخلوى إلى حالة الراحة لا يتطلب حركة كثير من الأيونات عبر غشاء الخلية بل ينتشر أيون بوتاسيوم واحد لكل مائة ألف أيون بوتاسيوم ونفس المعدن من أيونات الصوديوم يدخل الخلية لإنتاج فعل الجهد المطلوب.

النابضة العصبية وتوصيلها على إمتداد الخلية العصبية Conducting The Nerve Impulse

Impulse Along The Neuron : النابضة العصبية الحيوية تسبب إندفاع أيونات الصوديوم إلى داخل الخلية العصبية مما يسبب تحول كبير في جهد الراحة Resting potential (لاحظ أن دخول أيونات الصوديوم يتبعه خروج لأيونات البوتاسيوم خارج الغشاء الخلوى الأمر الذى يعيد الغشاء لحالته الطبيعية). وقد أثبتت للتجارب أن التغير في نفاذية غشاء الخلية العصبية في منطقة التنبيه (والذى يسبب إزالة الإستقطاب Depolarization في هذه المنطقة) يسبب أيضا (يتبعه) تغير في نفاذية الصوديوم والبوتاسيوم في المناطق المجاورة. أى أن إزالة الإستقطاب في أحد مناطق غشاء البلازما للمحور يتبعه أيضا إزالة إستقطاب للمناطق المجاورة وتستمر هذه العملية على طول المحور (على إمتداد الخلية العصبية. وفي الألياف العصبية التى لا تحتوى على طبقة الميالين (الألياف الغير ميالينية أو الغير ناعجة) تنتقل فيها النبضات العصبية مثل موج البحر من منطقة إلى المنطقة التى تليها. أما بالنسبة للألياف العصبية الناعجة (شكل ١٣-٧) فتم عملية إزالة الإستقطاب على طول محور الخلية



شكل (٧-١٣) : للتشكل يوضح الغلاف المياليني وصلىة توصيل الإشارة العصبية بالقفز من غدة إلى غدة. منقول عن مرجع رقم ٣ بقلمه المراجع.

العصبية عن طريق القفز من إحدى عقد رانفيير Node of Ranvier إلى العقدة التي تليها ويسمى هذا الانتقال بعملية التوصيل بالقفز Saltatory conduction والموضح بالشكل (١٣-٧). وعملية قفز النبضة العصبية من عقدة إلى أخرى تزيد من معدل النقل بدرجة كبيرة. ويؤكد ذلك أن النبض العصبى ينتقل فى الألياف الغير نخاعية (الغير ميالينية) بسرعة نصف متر فى الثانية أما فى الألياف النخاعية (الميالينية) فينتقل النبض العصبى بمعدل (بسرعة) ٢٠٠ متر فى الثانية. أى أن النقل فى الألياف النخاعية أسرع ٤٠٠ مرة عنه فى الألياف الغير نخاعية. وسبب هذا الاختلاف فى معدل توصيل النبضة العصبية هو الاختلاف فى الكمية الكلية من غشاء المحور التى يجب أن يتم بها إزالة وعودة الاستقطاب.

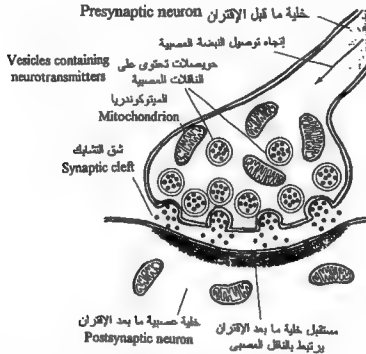
الإقتران العصبى (التشابك العصبى) The Synapses :

نقل النبض العصبى Transmitting the impulse من خلية عصبية إلى خلية عصبية أخرى يمر عبر نقط الإقتران (التشابك) للعصبى Synapses. وكلمة تشابك عصبى Synapse تعنى نقطة اتصال خليتين عصبيتين (شكل ١٣-٨) حيث يعرف التشابك العصبى بأنه الإ اتصال التشريحي المتخصص بين خليتين عصبيتين ولذى به يؤثر النشاط الكهربى فى خلية ما قبل الإقتران Presynaptic neuron على النشاط الكهربى فى خلية ما بعد الإقتران (التشابك) Postsynaptic neuron، وبالتالي فالتشابك العصبى Synapse عبارة عن ثلاث مكونات هى : ١- أضرار نهائية Terminal Bouton وتوجد فى نهايات المحاور العصبية. وأيضا أى نوع آخر من نهايات المحاور العصبية. ٢- شق التشابك العصبى Synaptic Cleft أو فجوة Gap بين خلايا عصبية مجاورة (شكل ١٣-٨) ٣- خلية ما بعد التشابك Postsynaptic Cell أو زائدة شجرية Dendrite (شكل ١٣-٨).

وهناك نوعان من نقط الإقتران هما : ١- الإقتران الكهربائى ٢- الإقتران الكيماوى.

- ١- الإقتران الكهربائى Electrical Synapses : وفى هذا النوع من التشابك تتصل خلايا ما قبل الإقتران Presynaptic neurons مع خلايا ما بعد الإقتران Postsynaptic neurons بواسطة ثغرات اتصال Gap Junctions والتى تسمح لجهد الفعل بالخلاية العصبية الأولى بالمرور مباشرة للخلاية العصبية الثانية حيث تؤدي إلى نفس استقطاب غشائها إلى حد العتبة Threshold وبذا ينشأ بها جهد فعل Action potential والجهاز العصبى للتنبؤات يحتوى على نسبة ضئيلة من الإقترانات الكهربائية.
- ٢- الإقتران الكيماوى Chemical Synapses : وفى هذا النوع من الإقتران (التشابك) ينتهى المحور الطرفى Axon terminal لخلية ما قبل الإقتران Presynaptic cell بالقرب من غشاء خلية ما بعد

الإقتران Presynaptic cell تاركاً مسافة بينهما تسمى شق التشابك (أو فراغ الإقتران) Synaptic Cleft (شكل ١٣-٨). وهذا الفراغ (شق التشابك) يمنع إنتشار التيار مباشرة من خلية ما قبل الإقتران إلى خلية ما بعد الإقتران وبدلاً من ذلك فعندما يصل النبض العصبى إلى الأضرار النهائية ، فإن إزالة الإستقطاب بالفضاء البلازماى تسبب تدفق سريع لأيونات الكالسيوم فى نهاية المحور. وتعمل أيونات الكالسيوم هذه على تحرير مادة كيميائية عضوية تسمى الناقل العصبى Neurotransmitter or neurohumor والذي يوجد مخزن فى حويصلات صغيرة Vesicles فى نهاية المحور (شكل ١٣-٨) ويقوم هذا الناقل العصبى بنقل الإشارة العصبية عبر شق التشابك



شكل (١٣-٨) : الشكل يوضح التشابك (الإقتران) العصبى الكيمائى ويوضح به الناقل العصبى و خلية ما قبل الإقتران و خلية ما بعد الإقتران

(فراغ الإقتران) إلى خلية ما بعد الإقتران. ويؤدى الناقل العصبى هذا الدور عن طريق إنتشاره عبر الشق العصبى للتشابك بين الخلايا العصبية المجاورة ويرتبطه مع مستقبلاته الموجودة على الأغشية البلازمية لخلايا ما بعد التشابك (ما بعد الإقتران). وهذا الارتباط ينشط تغير سريع فى نفاذية غشاء خلية ما بعد التشابك لأيونات الصوديوم - حيث تفتح ممرات للصوديوم مما يسبب مرور أيونات الصوديوم لداخل الخلية مسببة إزالة إستقطاب محلية.

وأحيانا قد يفرز من المحور أكثر من ناقل عصبي في نفس الوقت ويسمى الناقل العصبي الإضافي في هذه الحالة بالناقل المساعد Cotransmitter.

ونقل الإشارة العصبية عن طريق الناقل العصبي (الإقتران الكيماوي) يحدث في إتجاه واحد One-way conduction ومسبب ذلك أن الناقل العصبي يفرز من نهايات المحاور ثم يرتبط بمستقبلاته على غشاء خلية ما بعد الإقتران وبالتالي فالإشارة هنا تمر في إتجاه واحد وهو من خلية ما قبل الإقتران إلى خلية ما بعد الإقتران. بالإضافة إلى ذلك فهناك تأخير يقدر بحوالى ١/١٠٠ من الثانية يحدث في نقل الإشارة العصبية عبر نقط الإقتران الكيماوي عنه في الألياف العصبية المتصلة. وهذا التأخير Synaptic delay هو الوقت اللازم لدخول الكالسيوم من السوائل خارج خلوية ECF إلى نهاية المحور بالإضافة إلى إلتحام الحويصلات المحتوية على الناقل العصبي Neurotransmitter مع غشاء نهاية المحور وإفرازها للناقل العصبي.

والناقل العصبي يحدث تأثيره مكان إفرازه لذا يسميه البعض هرمون موضعي Local hormone وبعد إفرازه ولحداث تأثيره على خلية ما بعد الإقتران يتوقف فعله بسرعة عن طريق إما تحوله إلى مادة غير فعالة ومثالا لذلك يتم تكسير الناقل العصبي Acetylcholine بإنزيم Acetylcholinesterase أو عن طريق إنتشاره بعيدا عن مستقبلاته أو عن طريق نقله بالناقل للنشط Active transport إلى نهاية المحور مرة ثانية أو عن طريق دخوله إلى الخلايا الدعامية القريبة منه. والناقلات العصبية Neurotransmitters يتم تغليفها داخل جسم الخلية العصبية والذي يتم فيه أيضا تغليفها في حويصلات. ثم تنتقل هذه الحويصلات على طول محور الخلية العصبية عن طريق الألياف الدقيقة إلى الأزرار النهائية حيث تخزن فيها لحين الحاجة إليها. وعند وصول النبضة الكهربية الحيوية Bioelectric impulse تلتحم هذه الحويصلات مع غشاء ما قبل التشابك - ويحرر الناقل العصبي بواسطة الطرد الخلوى Exocytosis في شق التشابك العصبي.

وفي بعض الإقترانات (التشابكات) العصبية ينشط الناقل العصبي إحداث جهد فعل Action potential في الخلايا العصبية ما بعد التشابك Postsynaptic neurons لذا يسمى هذا التشابك العصبي بالتشابك العصبي التهييجي Excitatory Synapse أو يسمى أيضا بنقط الإقتران الكيماوي المهيجة Excitatory Chemical Synapse حيث يؤدي إفراز الناقل العصبي في هذه الحالة إلى نقص إستقطاب عصب ما بعد الإقتران إلى حد العتبة وذلك عن طريق فتح القنوات الأيونية للأيونات موجبة الشحنة بغشاء الخلية العصبية ما بعد التشابك Plasma membrane of postsynaptic neuron حيث يسبب ذلك تحرك أعداد صغيرة من أيونات البوتاسيوم إلى خارج الخلية مع تحرك أعداد

أكبر من لوحدات الصوديوم إلى داخل الخلية حيث يؤدي ذلك إلى نقص استقطاب غشاء خلية ما بعد التشابك (الإقتران) بدرجة قليلة مقرباً جهد الغشاء من حد العتبة وهو جهد مكدج ينتشر تلقائياً ويسمى **Excitatory postsynaptic potential (EPSP)**.

وفي بعض التشابكات (الإقترانات) العصبية الأخرى يؤدي ارتباط الناقل العصبي مع أغشية خلايا مع ما بعد التشابك إلى تثبيط تنقل الصوديوم وفتح قنوات الكلوريد أو البوتاسيوم أو كلاهما وهذا يجعل جهد الراحة Action potential أكثر سلبية ويجعل الخلية أقل قابلية للتثبيط، ويسمى هذا النوع من التشابك العصبي بالتشابك العصبي المثبط Inhibitory Synapse كما يسمى أيضاً بنقطة الإقتران الكيماوي المثبطة Inhibitory Chemical Synapse ويسبب هذا النوع من الإقتران تحرك جهد غشاء خلية ما بعد الإقتران في اتجاه جهد إيزان البوتاسيوم (حوالي -90 mv ميليفولت) وزيادة الاستقطاب هذه عبارة عن تدرج للجهد ويسمى **Inhibitory postsynaptic potential (IPSP)**.

الناقلات العصبية Neurotransmitters والمنظمات العصبية Neuromodulators : عرفنا مما سبق أن الناقلات العصبية قد تكون مهيجة لمصعب ما بعد التشابك EPSP أو مثبطة له IPSP. لكن المنظمات العصبية تقوم بعمل تأثيرات ميتابولازمية معقدة في عصب ما بعد الإقتران. وهذه المنظمات غالباً ما يتم تخليقها في خلية ما قبل الإقتران حيث تفرز مع الناقل العصبي ويمتد بعض العلماء أن هذه المنظمات قد تقوم بتضخيم أو إضعاف نقل الإقتران أو قد تقوم بتحسين استجابة خلية ما بعد الإقتران (التشابك) لناقلات عصبية معينة. والناقلات العصبية تحدث تأثيرها مباشرة على القنوات الأيونية بأغشية الخلايا ولذا فتأثيرها يأخذ $1/1000$ من الثانية بينما تحدث المنظمات العصبية تأثيرها عن طريق الرسول الثاني Second messenger ويكون تأثيرها مرتبط بأحداث معينة كالعلم والتطور.... الخ وهذه الأحداث تقاس في دقائق أو ساعات أو أكثر من ذلك فيمكن أن تبلغ عدة أيام.

الناقلات العصبية Neurotransmitters : سوف نتطرق هنا بلأن الله بمختصر

بسيط عن بعض الناقلات العصبية :

١ - الأسيتيل كولين Acetylcholine يتم تخليقه في سيتوبلازم جسم الخلية العصبية من الـ Acetyl Coenzyme A حيث يخزن في حويصلات وينقل عن طريق الأبابيب الدقيقة إلى الأضرار النهائية في نهايات المحاور العصبية. وبعد إفرازه وإحداث أثره على مستقبلات أغشية ما بعد التشابك (الإقتران) يحدث له تدمير Inactivation عن طريق إنزيم Acetylcholinesterase وهذا الإنزيم يوجد عند أغشية ما قبل وما بعد الإقتران (التشابك) والـ Choline الناتج يعاد نقله بالنقل النشط إلى نهايات المحاور ليعاد استعماله في تخليق الأسيتل كولين مرة أخرى.

٢- **الأمينات الحيوية Biogenic Amines** : أكثرها إنتشاراً هي أمينات الكاتيكول Catecholamines (CAs) ومنها الـ Dopamin والـ Norepinephrine (NE) وهي تصنع من الحمض الأميني Tyrosine وبعد إفراز وإدخاله إلى CAs لوظائفها كقنوات عصبية يقل تركيزها بسبب نقلها بالنقل النشط إلى نهايات المحاور التي ألفركزها أو بسبب هدمها بواسطة إنزيمين هما: Catechol-O-Methyltransferase (CoMT) and Monoamine oxidase (MAO) والـ Catecholamines لها تأثيرات متعددة فهي قد تعمل كمضطامات عصبية على خلايا ما بعد الإلتزان (التشابك). ولأنها تعمل عن طريق الرسل الثانية Second messengers مثل Cyclic AMP, Cyclic GMP and DAG لذلك فتأثيرها بطيء حيث تقوم بتعديل إستجابة خلايا ما بعد الإلتزان للقنوات العصبية الأسرع تأثيراً. وهي أيضاً تشترك في التأثير على الحركة والإنتباه والحالة النفسية والإستجابة للإجهاد.

والنسبة للسيروتونين Serotonin فهو يخلق من الحمض الأميني للترينوفان Tryptophane ولأن تأثيره بطيء فيعتقد أنه يعمل كمضظم عصبى. وجدير بالذكر أن السيروتونين يوجد فى خلايا غير عصبية مثل الصفائح الدموية وخلايا خاصة مبطلة للقناة الهضمية. ويقل نشاط الخلايا المنتجة للسيروتونين أثناء النوم ويصل نشاطها لذروته أثناء اليقظة والنشاط. والـ Serotonin له علاقة بالحالة النفسية للفرد. ويتم هدمه بواسطة إنزيم Monoamin oxidase (MAO). بالإضافة إلى ذلك فالـ Serotonin يوجد فى الغدة الصنوبرية Pineal gland ويتم تحويله إلى ميلاتونين Melatonin عن طريق فعل نشاط إنزيم Hydroxy indol Methyltransferase (HIOMT).

٣- بعض الأحماض الأمينية تعمل كقنوات عصبية حيث يعمل كلا من الـ Aspartate and Gama Amino Butyric Acid Glutamate كقنوات عصبية مبهجة بينما يعمل الحمض الأميني GABA (GAB) كمثبط أساسى ومعظم خلايا الجهاز العصبى المركزى CNS تحتوى على مستقبلات له لذلك فيعتقد أنه واسع الإنتشار.

٤- هناك بعض الببتيدات تسمى الببتيدات العصبية Neuropeptides ومنها Substance P وهي تعمل كقنوات عصبى للخلايا العصبية الحسية للدخلة Sensory neurons التى تنقل المعلومات إلى الجهاز العصبى المركزى CNS ويعتقد أيضاً أنها تشترك فى نقل المنبهات المسببة للألم.

وتوجد الببتيدات العصبية في كثير من الأنسجة الغير عصبية فهي يمكن أن تقوم بوظيفة هرمونية Hormonal function أو تفرز من خلية لتؤثر على خلية مجاورة Paracrine Function أو تقوم بوظيفة Interleukins... الخ وذلك تبعا لمكان الإفراز والخلية الهدف.

وهذه الببتيدات العصبية تخلق بطريقة مختلفة عن الناقلات العصبية فهي يمكن أن تخلق في صورة جزيئات كبيرة مثل Prehormone أو Preprohormone وهي الصور الغير نشطة حيث يقوم إنزيم تحليل البروتين بقطع جزء من الجزيء ليصبح الجزيء الباقي هو الصورة للنشطة للناقل العصبي ومن أمثلة ذلك الأندورفينات Endorphine والتي هي جزء من جزيء كبير يسمى Proopiomelanocortin (POMC) والذي يخلق منه أيضا هرمونات أخرى.

وإدراك دول العلماء أن هذه الببتيدات العصبية تلعب دوراً في السلوك الغذائي وسلوك الشرب وفي تطور الخلايا والتنظيم العصبي للجهاز الدوري.

الناقلات العصبية وفكرة استخدام المبيدات الحشرية - العقاقير المخدرة وبعض الكيمائيات الأخرى:

ذكرنا من قبل أن الناقل العصبي يبقى أثره عن طريق ارتباطه على مستقبلات أغشية خلايا ما بعد التشابك. وبعد أن يؤدي دوره المفروض أن يختفي كنتيجة لتكسيره أو إعادة نقله بالنقل النشط... الخ. أما لو بقي الناقل العصبي في شق التشابك العصبي (فراغ الإقتران) Synaptic Cleft فقد يسبب ذلك إعادة تنشيط غشاء ما بعد التشابك ومثالاً لذلك فعدد من المبيدات الحشرية للشائعة مثل Organophosphates تسبب تثبيط إنزيم Acetylcholinesterase وهذا الإنزيم موجود في التشابكات العصبية Synapses لكلاً من الحويان والإنسان والحشرات. وكما ذكرنا من قبل فالناقل العصبي Acetylcholine المفرز في التشابكات العصبية يرتبط مع مستقبلاته على أغشية خلايا ما بعد التشابك حيث ينشط البنفس الكهربائي للحوي بعد ذلك يتم هدم هذا الناقل العصبي بفعل إنزيم Acetylcholinesterase. والمبيدات الحشرية تقتل الحشرات عن طريق تثبيطها لنشاط إنزيم Acetylcholinesterase. ومن هنا تأتي خطورة هذه المبيدات فكما تقوم هذه المبيدات بتعطيل التوصيل العصبي في الحشرات وقتلها فهي ضارة أيضاً لسمال المزارع والعمال الذين يقومون برش هذه المبيدات حيث يتعرضون لمستويات عالية من المبيد أثناء العمل. كما أنها ضارة بالحيوانات المزرعية أيضاً (لاحظ أن هذه المبيدات تقوم بتثبيط إنزيم Acetylcholinesterase في كلاً من الحشرات والإنسان والحيوان).

وتنظيم نشاط إنزيم Acetylcholinesterase ينتج عنه تراكم الناقل العصبي Acetylcholine عند التشابكات (الاقترانات) العصبية وهذا يسبب تشنط مستمر لأعصاب ما بعد التشابك مما يؤدي إلى حدوث تشنجات Spasms للعضلات. وهناك نوعين من الأعراض تظهر على الإنسان كنتيجة لذلك، فالمستويات المنخفضة من المييد تسبب عدم وضوح الرؤية وصداع وسرعة النبض وغزارة العرق. أما المستويات العالية من المييد فهي تسبب تشنجات عضلية حادة ويبدأ الضحية في التلوى بدون سيطرة وقد يؤدي ذلك إلى وفاة الضحية. وفي إحصائية لمنظمة الصحة العالمية كدرت حالات للتسمم بالمبيدات في الولايات المتحدة الأمريكية بحوالى ١٠٠-٣٠٠ ألف سنوياً معظمهم من المزارعين في الزراعة وقد قدر عدد الأشخاص الذين يموتون كنتيجة للتسمم بالمبيدات بحوالى ٢٠٠ إلى ١٠٠٠ شخص. ولذلك فيجب على المزارعين إستعمال وسائل أخرى في مقاومة الحشرات غير مسببة للتلوث مثل إستخدام طريقة الدورة الزراعية (المحصولية) Crop rotation ، أو إستخدام أصناف محاصيل مقاومة للحشرات أو إستخدام المقاومة الحيوية للحشرات... الخ من الطرق الممكنة إقتصادياً والبيئة لعملية إستخدام المبيدات.

المخدر الموضعي (البليج للموضعي) هناك بعض العقاقير الطبية التي تستعمل موضعياً على سطح الجلد أو مكان الإصابة لتؤكف الإحساس بالألم ومن أمثلتها عقار الـ Procaine والـ Xylocaine وطريقة عمل هذه المسكنات (المخدرات) أنها تمنع فتح قنوات الصوديوم إستجابة للنقص إستقطاب غشاء الخلية العصبية وبالتالي فهي تمنع تكوين الإشارات العصبية في الأنسجة الطرفية فلا تصل إلى المخ ولذلك فهي تؤكف وتمنع الإحساس بالألم الناتج من إصابة أو التعامل مع الأنسجة الطرفية. وهناك كمواد أخرى تؤثر على الأعصاب والنقل للخلوى في العمليات الجراحية تستخدم بعض عقاقير التخدير Anesthetics في تثبيت النقل عن طريق التشابك العصبى وعقاقير أخرى قد تؤثر على الثغور البروتينية Protein pores في الأغشية الخلوية للخلايا العصبية والتي تعمل كقنوات لتنظيم مرور أيونات الصوديوم داخل وخارج الخلايا العصبية. وعندما تقوم هذه العقاقير بمنع مرور الصوديوم فهي بذلك تشل الأعصاب الحسية Sensory neurons التي تحمل إشارات الألم إلى المخ. الكافيين والكوكايين : للكافيين هو الموجود في القهوة وهو يؤثر على وظائف الخلية العصبية فهو يزيد النقل عن طريق التشابك العصبى. وبالتالي فهو يزيد النشاط العصبى ولذلك فمدمنى القهوة يكونوا شديدي العصبية. أما الكوكايين Cocaine فهو مخدر يؤثر على الناقلات العصبية Neurotransmitters حيث يعمل في المخ على منع أخذ الناقلات العصبية بواسطة الأورار النهائية وبالتالي يزيد النشاط العصبى. بالإضافة إلى ذلك فزيادة التوصيل العصبى للمخ ينتج عنه زيادة في الصحوة (النبظة) والشعور بالسعادة والخفة والنشاط والشعور بالبهجة وشعور الإنسان له على القمة

High وكلمة High مصطلح معروف يطلق على الذين يتعاملوا الكوكابين والمخدرات عموما لكن هذا الشعور يستمر لنصف ساعة تقريبا ويتبعه فترة من الإكتئاب Depression والقلق Anxiety مما يجعل المتعاطي يحاول تناول جرعات أخرى وبعد فترة من تعاطي الكوكابين يحدث للممن خبل وتشويش خطير فى المخ كما أنه يكون كثير الأوهام فهو دلقم للزهرم أن البعض يقصده ويحاول إيفائه ولذا يحول هذا الممن إلى شخص شديد الإنفعال عليل مما قد يجعله يقوم بعمليات إجرامية قد تؤذى نفس بعض الأحيان بحياته وحياة الآخرين أيضا.

وبعد أن استعرضنا التصنيف الوظيفى للخلايا العصبية وطبيعة وكيفية عملها والمؤثرات ذات العلاقة بها نعود مرة أخرى لما ذكرناه فى مقدمة هذا الباب عن تركيب الجهاز العصبى Structure of the nervous system. وقيل أن نعرض لتفصيل ذلك يجب علينا أولا أن نلم ببعض التعريفات أو المصطلحات التى سوف نقابلها بإذن الله فى هذا الشأن وهى : ١- الليفة العصبية Nerve fibre وهى عبارة عن زائدة طويلة تخرج من جسم الخلية العصبية، وهذه الألياف عندما تتجمع سويا وتتجه لمكان واحد فى الجهاز العصبى الطرفى تسمى عصب Nerve. أما مجموعة الألياف التى تتجه مع بعضها إلى الجهاز العصبى المركزى فتسمى مسار أو مسلك Pathway أو قد تسمى أيضا سبيل Tract. أما الألياف الموصلة Commissure فهى مجموعة الألياف التى تربط النصف الأيسر مع النصف الأيمن من الجهاز العصبى المركزى CNS. وبالنسبة لتجمعات أجسام الخلايا للعصبية Nerve cell bodies فهى تسمى حسب مكان تجمعها فإذا تجمعت أجسام الخلايا العصبية فى الجهاز العصبى الطرفى PNS فتسمى عقد Ganglia. بينما لو تجمعت فى الجهاز العصبى المركزى فتسمى أنوية Nuclei.

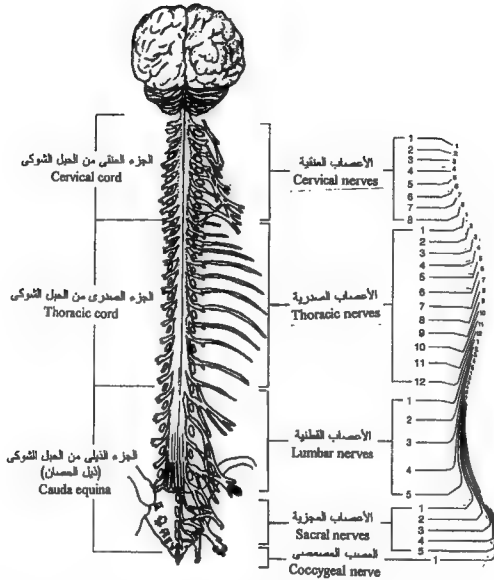
وبالنسبة للجهاز العصبى المركزى فهو يتكون من المخ (الدماغ) Brain والذى يوجد داخل الجمجمة Skull والحبل الشوكى Spinal Cord والذى يوجد داخل العمود الفقرى Vertebral Column ويصل المخ والحبل الشوكى عن العظام المحيطة بهم ثلاثة أغشية سحائية Meninges تغلف الأنسجة العصبية للليفة وتحميها.

وترتيب هذه الأغشية للسحائية من ناحية العظام إلى ناحية الأنسجة العصبية كما يلى :
١- الأم الجافية Dura matter وتكون موجودة من الخارج ناحية العظام -٢- غشاء وسطى يسمى الأم العنكبوتية Arachnoid -٣- الأم الحنون Pia matter وهذه ناحية النسج العصبية.

لما السائل المخي الشوكي Cerebrospinal fluid في المفاصة ما بين الأم الحنكوتية والأم الحنون. وهذا السائل يملأ أيضا بطينيات الدماغ. ولذلك فالدمخ والحبل الشوكي (الجهاز العصبي المركزي CNS) يوجدان داخل ومادة من السائل المخي الشوكي تحميها من الصدمات ومن الحركات المفاجئة. ويغز السائل المخي الشوكي من بطانة البطينيات الأريمة عن طريق جزء من تركيباتها يسمى الشفلفر المشيمية Choroid Plexuses. ويدور هذا السائل خلال (البطينات المتصلة ببعضها إلى ساق المخ Brain stem ثم يمر من خلال فتحات صغيرة إلى سطح المخ والحبل الشوكي ليعاد امتصاص معظم السائل المخي الشوكي إلى الدم. وفي حالة عدم امتصاصه لأي سبب فإنه يسبب استمقاء في الرأس Hydrocephalus والذي إذا لم يعالج يسبب ارتفاع الضغط في البطينات وتختلف عتلى Mental Retardation.

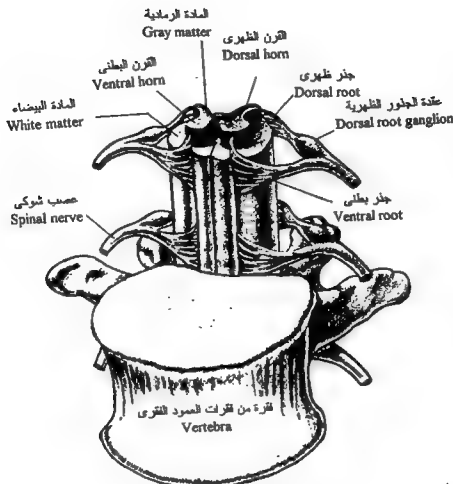
الحبل الشوكي The Spinal Cord : الحبل الشوكي تركيب طويل على شكل إسطوانة من نسج لين قطره يمثال تقريبا قطر أصبع اليد الصغير في الإنسان. ويتصل الحبل الشوكي من أعلى بالمخ Brain حيث يمتد إلى أسفل مارا في القناة القربية Vertebral canal والتي تتكون من فقرات العمود الفقري (شكل ١٣-٩) والمنطقة الوسطية من الحبل الشوكي هي المنطقة الرمادية Grey matter وهي تشبه الفراشة في الشكل أو هي على شكل حرف H وتتكون من الخلايا العصبية البينية والأجسام والزوائد الشجرية للخلايا العصبية الخارجة والجزء من الخلايا العصبية الداخلة الواقع في الجهاز العصبي المركزي CNS والخلايا الدعامية. وتركيب هذه المادة الرمادية غير محاط بغلاف مائيي ومن هنا جاءت تسميتها بالمادة الرمادية لأنها ليس لها لون أبيض. وتحاط المادة الرمادية بالمادة البيضاء White matter. والمادة البيضاء تتكون من محاور الخلايا العصبية البينية المختلفة بغلاف مائيي والذي يعطيه اللون الأبيض. وهي عبارة عن ألياف الممالك العصبية Fiber tracts - وهي المحاور والتفرعات الشجرية التي تنتقل إلى أعلى وإلى أسفل في الحبل الشوكي Spinal cord لتوصيل للمعلومات (الإشارات) وحملها إلى ومن المخ Brain.

وتفرع الأعصاب على امتداد الحبل الشوكي، وهذه الأعصاب تمد الجلد وعضلات وعظام ومفاصل الجسم. وتقوم هذه الأعصاب بنقل المعلومات العصبية إلى الحبل الشوكي، ثم تعيد نقل المعلومات الحركية. ويمتد الحبل الشوكي إلى أسفل الظهر عند الفترة القطنية الثانية تقريبا (شكل ١٣-٩) ثم ينتهي في سلسلة من الأعصاب تسمى ذيل الحصان Cauda equina والتي تمد الأجزاء السفلى من الجسم بالأعصاب.



شكل (١٣-٩) : الشكل يوضح الحبل الشوكي Spinal cord كما يوضح أنه يمتد من المخ Brain إلى الجزء المسمى من المنطقة القطنية Lumbar region.

ومجموعات الألياف العصبية للجهاز العصبي الطرفي PNS الدخلة Afferent للحبل الشوكي تدخل من الجانب الظهرى له عن طريق الجذور الظهرية Dorsal roots (شكل ١٣-١٠). وتوجد على هذه الجذور الظهرية إنتقاطات صغيرة تسمى عقد الجذور الظهرية Dorsal root وهي التي تحتوى على أجسام الخلايا العصبية للدخلة.

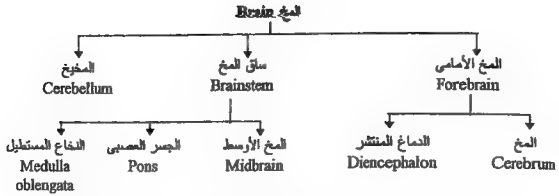


شكل (١٠-١٣) : ديجرام يوضح منظر بطنى لقطاع لى الحبل الشوكى
منقول عن مرجع رقم ٥ فى قائمة المراجع

أما بالنسبة لمحاور الخلايا العصبية الخارجة فهي تخرج من الجانب البطنى للحبل الشوكى عن طريق الجذور البطنية Ventral roots. والجذور البطنية والظهرية الموجودة على نفس المستوى تتحد بعد مسافة قصيرة من الحبل الشوكى لتكون زوج من الأعصاب الشوكية Spinal nerves حيث يقع كل واحد من هذا الزوج على جانب من جانبي الحبل الشوكى (شكل ١٠-١٣).

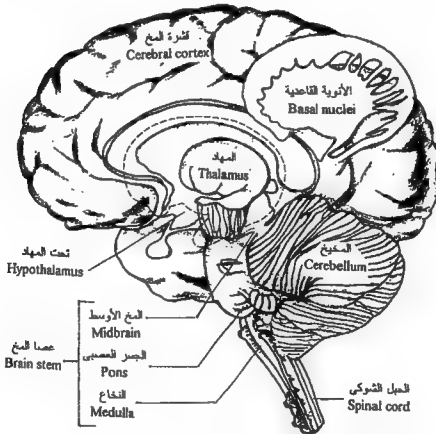
المخ (الدماغ) : Brain

المخ عبارة عن عضو غير عادى من أعضاء جسم الإنسان أو الحيوان. وحجم المخ فى الإنسان يساوى حجم حبة الكاكتلوب تقريبا. وفى الإنسان يقوم المخ بأعمال غير عادية فذه لا داعى لنكرها لأننا جميعا نعرفها ويتكون المخ (الدماغ) من ستة أجزاء كما هو موضح.



كما يوجد بالمخ أربعة تجاويف متصلة مع بعضها تسمى بطيات المخ Cerebral ventricles وهذه كما ذكرنا تحتوي على السائل المخي الشوكي Cerebrospinal fluid.

أولاً : ساق المخ (الدماغ) Brain Stem : ساق المخ يتكون من النخاع Medulla (شكل ١٣-١١).
وتمر خلال ساق المخ كل الألياف العصبية التي تنقل الإشارات بين الحبل الشوكي والمخ الأمامي أو



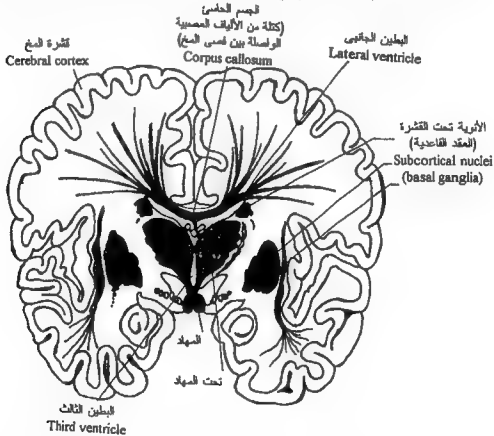
شكل (١٣-١١) : توضح مكونات (أجزاء) المخ (الدماغ)

المخيخ. وتنتقل الإشارات بين ساق المخ والمخيخ بواسطة ثلاث حزم كبيرة من الألياف العصبية تسمى سويقات المخيخ Cerebellar peduncles والنخاع Medulla (أحد مكونات ساق المخ) هو استمرار لمقدمة الحبل الشوكي وتمر من خلاله كل المعلومات الواردة والصادرة. والألياف العصبية الحاملة للمعلومات إلى ومن المخ ترسل فروعاً إلى منطقة في النخاع تسمى الجهاز المنشط للتكوين الشبكي (RAS) Reticular Activating System. ويقوم RAS برصد المعلومات الواردة والصادرة، كذلك يعمل على إبقاء قشرة المخ Cerebral Cortex (والتي تحتوى على أعلى كثافة ذهنية Mental capacity) على علم بمرور المعلومات. والجهاز المنشط للتكوين الشبكي RAS جهاز مسبب للإثارة وتنتقل الألياف العصبية من RAS إلى قشرة المخ حيث تنشط الخلايا العصبية وبذا تحافظ على اليقظة Wakefulness وال نشاط والحذر Alertness. أما فى حالة النوم فيقل مرور المعلومات بدرجة كبيرة من الـ RAS إلى قشرة المخ. لكن إذا حدث شئ للناثم مثل لدغة حشرة أو ناموسة فإنها تنبه الأوصاب الحسية Sensory neurons في الجلد حيث ترسل إشارات عصبية إلى المخ وتنتقل هذه الإشارات إلى المناطق الحسية فى المخ وتسبب نقطة النائم. وقد تمنع RAS الشخص من النوم أحيانا فالألم الناتج عن حرق الشمس يمنع الشخص غالبا من النوم عن طريق دخول نبضات الألم الواردة إلى المخ إلى الـ RAS حيث تكون نبضات تنتقل إلى قشرة المخ. بالإضافة إلى ذلك فالـ RAS تحتوى على مراكز تعمل مع الـ هيبوثالامات فى تنظيم نبضات القلب والتنفس والأوعية الدموية والبلع والسعال والقى. وبالتالي فالـ RAS تعتبر أساسية للحياة حيث لها تأثير واسع المدى على أجزاء الجهاز العصبى المركزى الأخرى.

ثانياً : المخيخ Cerebellum يتكون المخيخ من طبقة من الخلايا الخارجية وهى التى تكون قشرة المخيخ Cerebellar cortex ومن خلاها عنقودية Clusters تكون أنوية المخيخ Cerebellar nuclei. وأنوية المخيخ تقع فى عمق للمخيخ. ويتصل المخيخ مع ساق المخ بواسطة سويقات المخيخ (أو يمكن تسميتها ذنبيات للمخيخ) Cerebellar peduncles. والمخيخ يلعب عدة أدوار هامة منها دور التآزر Synergism، وهذا التآزر معناه التنسيق بين انقباض العضلات وحركة أجزاء الجسم ومثالا لذلك فعند مد اليدين للأمام ثم ثنيها إلى الصدر يتطلب هذا الإجراء البسيط أن تنقبض العضلة ذات الرأسين Biceps أعلى الذراع من الأمام، وأن تنبسط العضلة ثلاثية الرؤوس Triceps أعلا الذراع من الخلف. ومعنى ذلك أنه يجب إنقباض بعض العضلات وإنبساط البعض الأخرى لحدوث حركة سلسة متناصفة. ولذلك فالمخيخ يقوم بهذا العمل حيث يضمن عمل المجاميع المتضادة من العضلات متوريا للحصول على حركات سلسة. والمخيخ يساعد أيضا فى عمليتى الوقوف والجلوس (الوضعية

Posture حيث يستقبل المخيخ النبضات العصبية من الأعضاء الحسية في الأذن التي ترصد وضع الجسم ثم يقوم المخيخ بإرسال نبضات عصبية إلى العضلات للمحافظة على الوضع الصحيح للجسم وإثرائه أيضا. وبالتالي فمن الطبيعي أن يستقبل المخيخ إشارات أو معلومات من العضلات والمفاصل والجلد والعيون والأذنين والأعضاء ومعلومات أيضا من باقي أجزاء المخ حتى يتمكن من عمله كمركز منسق للحركات والتحكم في وضع وإثزان الجسم.

ثالثا : المخ الأمامي Forebrain : وهو يتكون من جزئين هما : ١- المخ Cerebrum والماغ المنتشر Diencephalon. ١- المخ Cerebrum : يوجد على شكل نصفين كرويين The cerebral hemispheres وهما أكبر أجزاء المخ الظاهرية (شكل ١٢-١٣) وأهم إختصاصاتهما الوظيفية هي التكامل Integration وإستقبال الإحساس Sensory reception وللتأثيرات الحركية Motor action. وكل نصف من نصفي كرة المخ يتكون من قشرة خارجية Cerebral cortex (شكل ١٢-١٣) يقع تحتها أنوية تحت قشرية Subcortical nuclei بجانب العديد

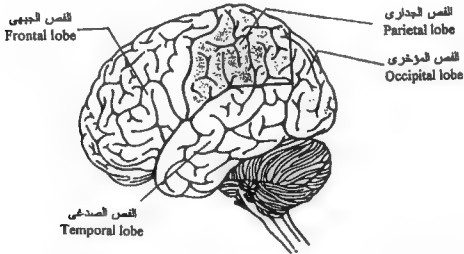


شكل (١٢-١٣) : رسم تخطيطي يوضح قطاع جانبي في المخ مارا بمنطقة المهاد وتحت المهاد. منقول عن مرجع رقم ٥ بقائمة المراجع.

من الألياف العصبية الداخلة والخارجة والبينية (الرابطة). ويفصل نصفى كرة المخ عن بعضهما طولياً ولكنهما يتصلان ببعضهما من أسفل عن طريق الألياف الموصلة Commissures وأكبرها هو للجسم للجسم **Corpus Callosum** (وهو عبارة عن كتلة من الألياف العصبية الواصلة بين نصفى المخ). أما باقى المناطق المختلفة داخل نصفى كرة المخ فتتصل مع بعضها بواسطة الألياف الرابطة Association fibers.

وقشرة المخ **Cerebral Cortex** : وهى تتكون من عدد من خلايا وألياف عصبية وتنقسم إلى جزئين هما ١- المادة الرمادية **Gray matter** والمادة البيضاء **White matter**. وأجسام الخلايا العصبية **Cell bodies** تقع فى المادة الرمادية فى المنطقة الخارجية حيث تظهر رمادية للعين المجردة. أما محاور هذه الخلايا العصبية وزوائد الشجرية فيمر معظمها تحت المادة الرمادية (بمعنى أن المادة الرمادية تقع فيها أجسام الخلايا العصبية أما محاور هذه الخلايا وزوائد الشجرية والتي هى مغلفة بغلاف مياليني أبيض فتقع تحت هذه المادة الرمادية مكونة المادة البيضاء). هذا وتحمل محاور للخلايا العصبية **Axons** وزوائد للشجرية للمعلومات إلى ومن المادة الرمادية. وتحتوى قشرة المخ (شكل ١٣-١٢) على ثنيات **Folds** عديدة تسمى تلافيف المخ **Gyri** والتي يوجد بها العديد من المنخفضات أو الأخاديد **Sulci**.

وقشرة المخ **Cerebral cortex** فى كل نصف من نصفى كرة المخ تنقسم إلى أربعة فصوص (شكل ١٣-١٢) هى : ١- **Frontal Lobe** الفص الجبهى : وهو مركز الوظائف العقلية مثل



شكل (١٣-١٢) : رسم تخطيطى يوضح منظر جانبي للمخ يظهر به الطبقة الخارجية للمخ الأسمى (قشرة المخ) مقسمة إلى أربعة فصوص.

والحكم والتخطيط وبه مراكز تتحكم في تنسيق حركات اليد وكلامه وكتابتته وتفكيره -٢- الفص الجدارى **Parietal Lobe** وهذا الفص متخصص في الإحساس فتصل له معلومات من مستقبلات اللمس والتذوق والالام والحرارة والضغط -٣- الفص المؤخرى **Occipital Lobe** وهو المسؤول عن الإبصار حيث يستقبل الإشارات البصرية -٤- الفص الصدغى **Temporal Lobe** هو مركز السمع لذلك فهو يستقبل الإشارات السمعية (شكل ١٣-١٣)

ويوجد داخل كل فص من هذه الفصوص الأربعة المناطق الخاصة تسمى وظائف خاصة. ويصنف عامة يمكن تقسيم هذه المناطق داخل كل فص إلى ثلاثة مجاميع رئيسية هي: أ- قشرة حركية - ب- قشرة حسية - ج- قشرة مشاركة.

أ- القشرة الحركية **The Motor Cortex** : وهي تنبه نشاط العضلات كما أن القشرة الحركية الأولية **Primary motor cortex** تمثل أحد التلافيف **Gyrus** أو القمم **Ridges** في كلا من نصفي كرة المخ أمام الأخنود الأوسط مباشرة وهي تتحكم في النشاط الحركى الإرادى **Voluntary motor activity** مثل تحريك اليد للأمام أو المشي أو تجهيز بعض الأشياء باليدين أو تقليب صفحات كتاب مثلا. ومما هو جدير بالذكر أن الخلايا العصبية في القشرة الحركية الأولية تكون مرتبة تبعا للجزء العضلى من الجسم الذى تتحكم فيه هذه الخلايا، ومثالا لذلك فخلايا القشرة الحركية الأولية العليا تتحكم فى عضلات الورك، يليها خلايا عصبية تتحكم فى عضلات الفخذ يليها خلايا عصبية تتحكم فى عضلات اليد. وأمام المنطقة الحركية الأولية توجد القشرة قبل الحركية **Premotor cortex** والتي تشترك فى التحكم فى انقباض العضلات لكن درجة التحكم للقشرة قبل الحركية ليست إرادية تماما، لكنها ناتجة عن التكريب مثل تحريك الأصابع للعب على البيانو والكتابة على الآلة الكاتبة وتحريك أصابع اليد للعب على العود. -ب- القشرة الحسية **The Sensory Cortex** : وهي تستقبل التنبهات الحسية. والقشرة الحسية الأولية **Primary Sensory Cortex** هي عبارة عن أحد التلافيف **Gyrus** الطويلة الأخرى التي تمر خلف الأخنود الأوسط مباشرة والتي تمر أيضا موازية للمنطقة الحركية الأولية. والقشرة الحسية الأولية هي المكان الذى ينتهى فيه العديد من النبضات الحسية **Sensory impulses** التي تذهب إلى المخ. وكل جزء من أجزاء القشرة الحركية الأولية يقابله جزء مناظر **Correspond** من أجزاء الجسم، ويؤكد ذلك أن غرس إلكترونيات فى مناطق معينة من القشرة الحسية الأولية يحفز إحساسات كتلك التي تأتي من أجزاء خاصة من الجسم. -ج- القشرة المشاركة (الشمسية) **Association Cortex** وهي تقع بين مناطق القشرة الحركية والقشرة الحسية وهي عبارة عن مساحة كبيرة من أنسجة المخ يحدث فيها عملية التكامل **Integration** ويوجد فى

فمنص مقدمة الجبهة Prefrontal lobe منطقة من القشرة المشاركة التي تقع بها النشاطات الفكرية المعقدة مثل التخطيط وتكوين أفكار جديدة. كما تعمل هذه المنطقة من القشرة المشاركة على تعديل السلوك لتكييف أعمال الإنسان مع قواعد السلوك الإجتماعية. وخلف القشرة الحسية تقع منطقة منسقة هامة أخرى حيث تفسر هذه المنطقة المعلومات الحسية التي تصل إلى المخ وتقوم بتخزين ذكريات للمناسخ السابقة، كما توجد أيضا مناطق منسقة للتفسير للخرى في الصور المكتوبة والمنطوقة.

مما سبق يتضح لنا أن قشرة المخ تنقسم إلى مناطق وظيفية خاصة (كل منطقة متخصصة في وظيفة معينة) لكن على الرغم من هذا فهذه الوظائف قد تنتقل من جزء إلى آخر في حالة تدميره. ومثالا لذلك فبعد تدمير خلايا المخ التي تتحكم في حركة العضلات نتيجة سكتة مخيه (دماغية) فسي هذه الحالة تقوم الخلايا السليمة الأخرى بوظائف الخلايا المدمره مما يسمح بالشفاء من الحالة إلى حد ما.

وظائف اللاوعي (الوظائف اللاإرادية) **Unconscious Functions** : مما سبق يتضح لنا أن الوعى (الوظائف الإرادية) يقع في قشرة المخ، لكن هناك العديد من الوظائف على مستوى اللاوعي (وظائف لاإرادية)، ومثالا لذلك فتتظيم نبض القلب والتنفس والبلع وكثير من وظائف الإيزان الداخلى مثل إفراز الهرمونات مثالا لجميع هؤلاء وعديد غيرهم تتم بدون تحكم واع (وظائف تتم بطريقة لاإرادية). وأحد مناطق التحكم اللاإرادية هو المخيخ وهو تكوين كبير وضخج ويعتبر ثلثي أكبر تركيب في المخ وساق المخ Brainstem وقد تحدثنا عنهم سابقا والدماغ (المخ) المنتشر Diencephalon والذي يتكون من جزئين رئيسيين هما للمهاد وتحت المهاد.

رابعاً : للمخ (الدماغ) المنتشر **Diencephalon** : ويتكون من جزئين هما ١- المهاد ٢- تحت المهاد.

١- المهاد **Thalamus** : ويقع المهاد أسفل قشرة المخ مباشرة وهو عبارة عن عدد كبير من الأنوية كمحطة ترحيل للإشارات العصبية Synaptic Relay Station ويمكن تشبيهها بالسبخرات Switchboard الداخلى لمجموعة كبيرة من التليفونات. ولذلك فهي مركز تتنام لمعظم الإشارات الواردة لقشرة المخ Sensory input ماعدا حاسة الشم، وهي تنظم وتنسق الإفعالات، كما أنها تصنف الإشارات الحسية الداخلة لها وتنقلها إلى القشرة الحسية والقشرة المنسقة. وإستتصال المهاد يؤدي إلى نقد الإحساس بالألم وقد الإحساس عن طريق الجلد والعضلات.

٢- تحت المهاد **Hypothalamus** : تقع أسفل المهاد ومن هنا جاءت التسمية ويبلغ وزنها أقل من ١% من وزن المخ وتتكون من عديد من مجاميع الخلايا العصبية التي تسمى أنوية. وهى أساسية في تنظيم والتحكم في آليات عديده من آليات الإيزان الداخلى Homeostatic mechanisms

(سوف نتحدث عن ذلك بالتفصيل بإذن الله في باب جهاز الغدة الصماء). وهى حلقة الوصل بين الجهاز العصبى وجهاز الغدة الصماء حيث تقع فوق الغدة للخامية مباشرة وتتصل معها بواسطة علق (مساق) الغدة Pituitary stalk. والهيپوثالامث مخصصة أيضا بتنظيم الشهية ودرجة حرارة الجسم والإحزان المائى فيوجد بداخلها أنويه مخصصة بالجوع والعطش ودرجة الحرارة. والهيپوثالامث أيضا دور هام فى تنظيم الدورة للتناسلية وعديد من الإيقاعات البيولوجية Biological rhythms .

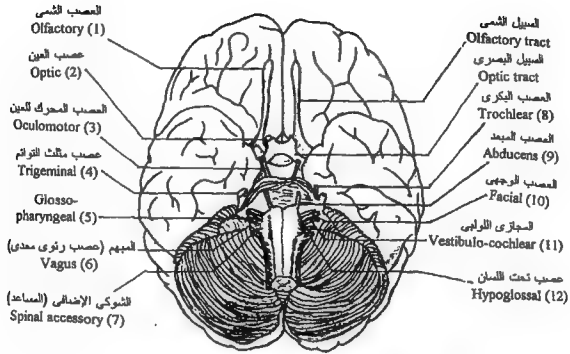
الجهاز الإنفعالى Limbic System : هو عبارة عن منطقة فى المخ (الدماغ) تتكون من مادة رمادية ومادة بيضاء. والجهاز الإنفعالى عبارة عن مجموعة من تراكيب المخ متصلة مع بعضها بالآلاف دائرية وتشمل أجزاء من القص الجببى والصدغى والمهاد وتحت المهاد، كما يتصل هذا الجهاز بأجزاء كثيرة من الجهاز العصبى. وهذا الجهاز هو المؤثر فى الفرائز Instincts مثل دوافع الحماية للم والمحافظة على أرض الوطن للذكور والأقبل والإندبار لإحتراف القتال ومواجهة الشدائد كما أن هذا الجهاز له علاقة كبيرة بملوك التعلم والسلوك العاطفى.

ويجدر الإشارة هنا أن بعض العلماء يعتقد أن الجهاز الإنفعالى يرتب وينظم تدريجيا إلى حد كبير عن طريق البيئة التى يعيش فيها الفرد وأهمها الأديان والعادات والتقاليد. أى أن هذا الجهاز يتعلم من البيئة ويأخذ منها حدة معلومات تصبح فيما بعد لارادية يقوم بتنفيذها وإظهارها كاستجابة لمنبهات خارجية والأمثلة على ذلك كثيرة فمثلا هناك شخص يغاز على زوجته ولينته وشيئته وهناك آخر لا يضع لذلك أى اعتبار وهناك شخص يقتل فى سبيل ماله وأرضه وآخر يترك ذلك من أجل نجاته... الخ ويعتقد العلماء أن كل هذه الأمور تقع ضمن وظائف وإختصاصات الجهاز الإنفعالى.

الجهاز العصبى الطرفى (PNS) Peripheral Nervous System :

كما سبق ونكرنا فإن الألياف العصبية تتجمع فى حزم تسمى أعصاب. والأعصاب هى جزء من الجهاز العصبى الطرفى وتقوم بنقل النبضات الحسية Sensory impulses إلى الحبل الشوكى Spinal cord والمخ Brain كما تقوم أيضا بنقل النبضات الحركية Motor impulses إلى خارج المخ والحبل الشوكى. وبعض الأعصاب حسية فقط وبعضها حركية فقط والغالبية منها مختلطة (أى تحتوى على ألياف حسية وألياف حركية معا).

ويتكون للجهاز العصبى الطرفى PNS من ٤٣ زوج من الأعصاب وهم عبارة عن ١٢ زوج من الأعصاب المخية Cranial nerves (شكل ١٣-١٤) وعدد ٣١ زوج من الأعصاب الشوكية

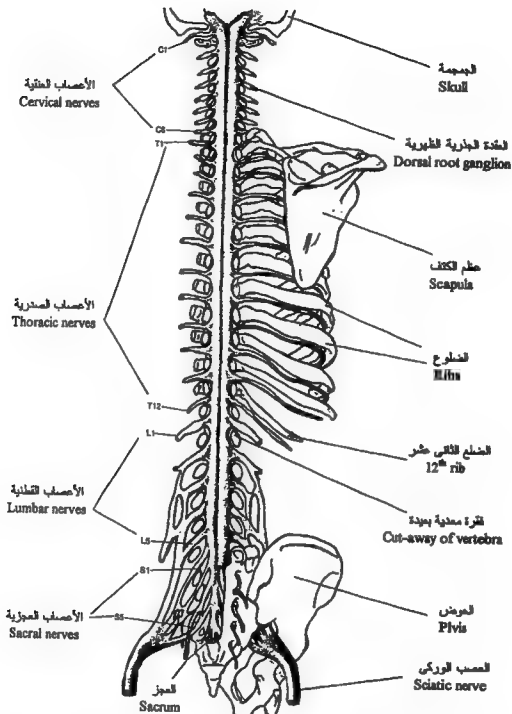


شكل (١٣-١٤) : رسم تخطيطي يوضح الإثني عشر زوج أعصاب مخيه والتي تخرج من الجانب السفلي للمخ ومسماها المخ.

Spinal nerves (شكل ١٣-١٥). ويجب ملاحظة أن العصب الطرفي يتكون من ألياف عصبية دخله وألياف عصبية خارجه فزما عدا أن بعض الأعصاب المخية كالأعصاب البصرية Optic nerves تحتوى فقط على ألياف داخله.

أ- القسم الدخلى **Afferent Division** : وهو ينقل المعلومات من المستقبلات إلى الجهاز العصبى المركزى والجزء الأكبر من محاور هذه الأعصاب يقع خارج الـ CNS وهو جزء من الجهاز العصبى الطرفى. وخلايا هذا القسم تسمى بالخلايا الأولية Primary afferents أو الخلايا العصبية من الطبقة الأولى First-order neurons وجاءت هذه التسمية على اعتبار أنها أول الخلايا الداخلة للجهاز العصبى المركزى.

ب- القسم الخارجى **Efferent Division** : وهو عبارة عن الخلايا العصبية التى تنقل النبضات (الإشارات) من الجهاز العصبى المركزى إلى العضلات الغدد. ويشمل هذا القسم ١- الجهاز العصبى الجسمى ٢- الجهاز العصبى الذاتى.



شكل (١٣-١٥) : رسم تخطيطي يوضح منظر ظهري للجبل الشوكي ويوضح به شاملة أعصاب عتقية تتحكم في العضلات والحد والتمثيل الإشارات من العنق وإثنى عشر زوج أعصاب صدرية والتي تتحد مع جذر الصدر والبطن وخمسة أزواج أعصاب قطنية تتحد مع الورك والرجل وخمسة أزواج أعصاب عجزية والتي تتحد مع الأعضاء الجلدية والأجزاء السفلى من القناة الهضمية.

١- الجهاز العصبي الجسدي Somatic Nervous System : ويسمى أيضا بالجهاز

العصبي الإرادي Voluntary Nervous System ويتكون هذا الجهاز من الألياف العصبية التي تنفذ العضلات الهيكلية. وأجسام الخلايا العصبية التي تخرج منها هذه الألياف توجد في مجموعات في ساق المخ Brainstem أو الحبل الشوكي Spinal cord ومحاور هذه الخلايا محاطة بغلاف مياليني وتسمى بمح. دون نقط إقتران إلى خلايا العضلات الهيكلية. (لاحظ أن الخلايا العصبية التي تنفذ العضلات الهيكلية تقوم بإفراز الناقل العصبي الأسيتيل كولين (Acetylcholine) لذلك فيمكن تسميتها بالخلايا العصبية المحركة Motor neurons لأن تفرج هذه الخلايا بسبب إنقباض العضلات الهيكلية كما لا يوجد منها خلايا مثبطة للعضلات الهيكلية.

٢- الجهاز العصبي الذاتي Autonomic Nervous System (ANS) : مثل الجهاز

العصبي الجسدي فهو يحتوي على خلايا عصبية حسية Sensory neurons وخلايا عصبية حركية Motor neurons والجهاز العصبي الذاتي يقوم بنقل المعلومات الحسية من الأعضاء إلى الجهاز العصبي المركزي والذي بدوره يقوم بإرسال نبضات عصبية حركية إلى العضلات الملساء والعضلة القلبية والغدد. والجهاز العصبي الذاتي يعمل بطريقة ذاتية (لاإرادية) ويسد كل الأعضاء والأحشاء الداخلية.

ومجموعات المحاور التي تصل الجهاز العصبي المركزي مع الخلايا المستجيبة تتكون في الجهاز العصبي الذاتي من خليتين عصبيتين ونقطة تشابك (إقتران) واحدة وذلك بخلاف الجهاز العصبي الجسدي حيث توجد خلية عصبية واحدة تمتد ليفتها مباشرة إلى خلية العضلة الهيكلية دون وجود نقط إقتران.

لما في الجهاز العصبي الذاتي تقع نقط الإقتران بين خليتين عصبيتين خارج الجهاز العصبي المركزي CNS في تجمعات تسمى العقدة العصبية الذاتية Autonomic ganglion. والاتصال بين CNS والخلايا المستجيبة يمر بالعقدة العصبية الذاتية. ولذلك تسمى الألياف العصبية التي تمر بين الجهاز العصبي المركزي والعقدة العصبية بالألياف العصبية الذاتية القبل عصبية Preganglionic nerve fibres، وتسمى الألياف التي بين العقدة العصبية والخلايا المستجيبة بالألياف البعد عصبية Postganglionic nerve fibres.

هذا وينقسم الجهاز العصبي الذاتي إلى قسمين هما الجهاز العصبي السمبثاوي والجهاز العصبي الباراسمبثاوي. ومعظم أعضاء الجسم تستقبل كلا من الألياف السمبثاوية والألياف الباراسمبثاوية وكقاعدة عامة توجد علاقة تضاد Antagonism بين الألياف السمبثاوية والألياف الباراسمبثاوية (أي

يوجد بينهما علاقة عكسية) حيث يعمل أحدهما على زيادة النشاط ويعمل الآخر على تثبيط النشاط ولهذه العلاقة فائدة حيث توفر للجسم وسيلة للضبط الدقيق لوظائف الأعضاء.

الجهاز العصبي السمبثاوي (Sympathetic Nervous System (SNS) : هذا الجهاز

يعمل في حالات الطوارئ وهو مسؤول عن إستجابة الإقبال والإنذار Fight-or-flight. وعند إصابة الإنسان أو الحيوان بالفزع يزداد نبض القلب ويتسع إتمان العين ويزداد معدل التنفس وكل هذه الإستجابات سببها النبهات العصبية السمبثاوية.

هذا وتخرج الألياف العصبية السمبثاوية من الجهاز العصبي المركزي عند المناطق الصدرية والقطنية من الحبل الشوكي. أما العقد السمبثاوية فتقع قريبة من النخاع الشوكي (الحبل الشوكي) وتكون سلسلتين كلاهما على جانب من جانبي الحبل الشوكي. كما توجد عقد عصبية تسمى جالبيه وتقع بعيدة عن الحبل الشوكي وهي عقد التجويف البطنى والعقد المساريقية العليا والعقد المساريقية السفلى وجميع هذه العقد تقع بالقرب من الأعضاء التي تتصل بها.

الجهاز العصبي الباراسمبثاوي The Parasympathetic Nervous System : الألياف

العصبية الباراسمبثاوية تسبب إستجابات داخلية مرتبطة بحالة الراحة (الإسترخاء) Relaxed state حيث تنقص معدل نبض القلب وتسبب إنقباض إتمان العين وتثبط الهضم.

هذا وتخرج الألياف العصبية الباراسمبثاوية من المخ (الدماغ) ومن الجزء المعزى من الحبل الشوكي. أما العقد العصبية الباراسمبثاوية فتقع داخل العضو المستجيب. والجهاز الباراسمبثاوي يتكون من وحدات مستقلة نسبيا.

ويجدر الإشارة هنا أن الناقل العصبي Neurotransmitter الرئيسي المستخدم في الجهازين السمبثاوي والباراسمبثاوي بين الألياف القليلة عقدية والألياف للبعد عقدية هو الأستيل كولين Acetylcholine. لكن الأمر يختلف بالنسبة لليلة البعد عقدية والخلية المستجيبة. ففي الجهاز العصبي الباراسمبثاوي يكون الناقل العصبي بين اليلة البعد عقدية والخلية المستجيبة هو الأستيل كولين Acetylcholin لكن في حالة الجهاز السمبثاوي يكون الناقل العصبي هو هرمون النورإبينفرين Norepinephrine (NE). ويجدر الإشارة هنا أن هرمون NE يعتبر لائقا عصبى Neurotransmitter إذا إفراز من الجهاز العصبي السمبثاوي حيث يفرز من خلايا عصبية ليس لها صفات خلايا الـ Neurosecretory cells (NSC) كما أنه يحدث له تغيير في مكان إفرازه ليؤدي وظيفة معينة، هذا بالرغم من أن هرمون NE المفرز من نخاع الغدة الجاركلوية (خلايا نخاع الغدة عبارة عن خلايا عصبية حدثت بها تحورات سيتولوجية بحيث أصبحت لها المقدرة على الإفراز ولذلك تسمى NSC) يسمى في هذه الحالة هرمون عصبى Neurohormone. ولذلك فالألياف

العصبية لكل الجهاز العصبي الخارج إما أن تكون ألياف عصبية كولينية **Cholinergic nerve fibers** وجاءت التسمية هنا من اسم الناقل العصبي أستيل كولين أو أن تكون ألياف عصبية أدرينية **Adrenergic nerve fibers** وجاءت التسمية هنا من اسم هرمون النور أدرينالين وهو نفسه هرمون : - إبينفرين.

الباب الرابع عشر

الجهاز العضلى

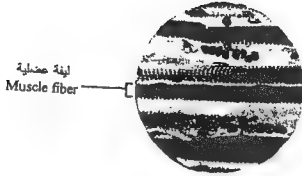
The Muscular System

مقدمة Introduction : تحدثنا فى الباب الثامن بإختصار عن النسيج العضلى والنسيج العظمى. ومن المعلوم أن العظام والمضلات يكونان مما **الجهاز العضلى الهيكلى** وهو يمثل حوالى ٥٥% من وزن الجسم فى الشخص البالغ. والعظام والمضلات وظائف هامة، فالحلابة العضلية تقوم بإستعمال الطاقة لتوليد القوة والحركة لإستخدامها بواسطة الفرد فى تنظيم بيئته الداخلية Internal environment وإنتاج جميع أنواع حركته فى بيئته الخارجية. كما تشترك العظام والمضلات فى عملية التوازن الداخلى Homeostasis فالعظام تعمل على المحافظة على الثبات النسبى لمستوى أبون الكالسيوم فى الدم وللأزلم أيضا لإنتفاض المضلات. كذلك فى التعرض للجو البارد تنقبض المضلات نبضيا (رعشة Shivering) مسببة إنتاج طاقة للمحافظة على الثبات النسبى لدرجة حرارة الجسم Body temperature homeostasis. بالإضافة إلى ذلك فالإنتفاض العضلى فى الإنسان هو المسؤول عن الكلام وتناول الأكل والشهوان والتصنيع وإداء إحتياجات الفرد اليومية....الخ.

أنواع المضلات : تنقسم المضلات تبعا لخواصها الإنتفاضية وتركيبها إلى ثلاثة أنواع هى ١- المضلات الهيكلية ٢- المضلات الناعمة (المسام) ٣- المضلات القلبية.

١ - **المضلات الهيكلية The Skeletal Muscles :** سميت بالمضلات الهيكلية لأنها تتصل بالهيكل العظمى وتسمى أيضا بالمضلات المغططة **Straited muscles** لأنها تظهر تحت الميكروسكوب الضوئى مغططة كنتيجة لوجود حزم من خيوط الأكتين Actin والميوسين Myosin. ولأن إنتفاضها يخضع لتحكم الجهاز العصبى الأرادى عن طريق الأعصاب المحركة Motor neurons التى تتصل بالمضلات الهيكلية لذا فهى تسمى أيضا بالمضلات الإرادية **Voluntary muscles**.

والمضلات الهيكلية (شكل ١٤-١) تعبر المفصل ولذلك فعند إنتفاضها تحدث الحركة. وعلى وجه العموم فإن المضلات تعمل فى مجاميع لإحداث حركات الجسم المختلفة (أى أن المضلات لا تعمل منفردة). وفى الغالب ترتب مجاميع المضلات بحيث تعمل مجموعة منها حركة معينة وتعمل مجموعة أخرى على الجنب الآخر من المفصل حركة عكسية.



شكل (١-١٤) : صورة بالميكروجراف الضوئي للعضلات الهيكلية

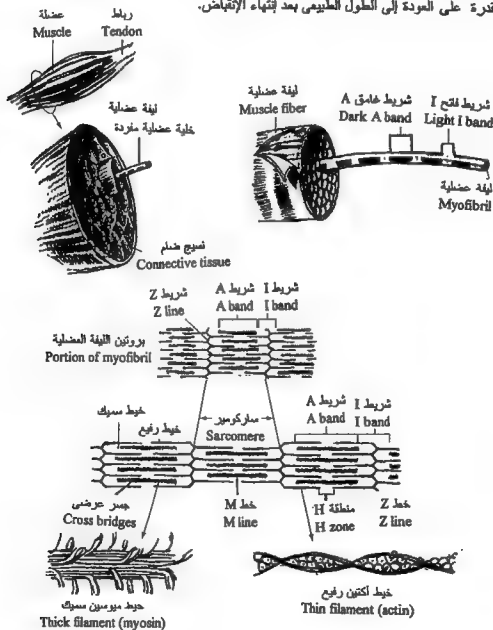
والعضلات المتعارضة تسمى متضادة **Antagonists** فمعد إنقباض عضلة لإنتاج حركة تنبسط العضلة المتعارضة لتساعد على إنتاج الحركة، وكما ذكرنا من قبل فالعضلات المتعارضة تقع تحت سيطرة المخ **Cerebellum**. وعد تحريك العضلات لا يتم ترتيب العضلات الهيكلية جميعها لتحريك العضلة، ولكن هناك عضلات موازره **Synergists** حيث تقوم بتثبيت المفصل حتى تتمكن عضلات أخرى من العمل. أما بالنسبة لعضلات الوجه فهي مثبتة في عظام الجمجمة وفي جلد الوجه. ولذلك فهذه العضلات تسمح لنا بتجديد الجلد وخلق العيون.

والعضلات تساعد الإنسان والحيوان على الوقوف والجلوس (بالنسبة للإنسان) في أوضاع سليمة متزنة (لاحظ أن هناك قوة الجاذبية الأرضية والتي تشده لأسفل).

تركيب العضلات الهيكلية **Structure Of The Skeletal Muscles** : العضلات الهيكلية تتكون من خلايا طويلة غير متفرعة تسمى الألياف العضلية **Muscle fibres** (شكل ١٤-٢). وتتكون الليفة العضلية أثناء التطور الجنيني كنتيجة لإندماج عدد من الخلايا الغير متميزة وحيدة النواة والتي تسمى **Myoblasts**. وبالتالي فالألياف العضلية عبارة عن خلايا متعددة الأنوية **Multinucleated** أسطوانية الشكل، وتكون مكتملة عند الولادة ولا تنقسم بعد الولادة لتكون ألياف عضلية جديدة ولكنها تزداد فقط في الحجم. لكن هناك مجموعات من خلايا غير كاملة التشكل تسمى بالخلايا التابعة **Satellite cells** وهذه الخلايا تقع بالقرب من الألياف العضلية وهي تقوم بالتعويض الجزئي لبعض الخلايا العضلية المستهلكة. والألياف العضلية تتجمع وتحاط بلمبيج ضام وتسمى حزم عضلية، وهذه الحزم تتجمع مع بعضها لتكون العضلة.

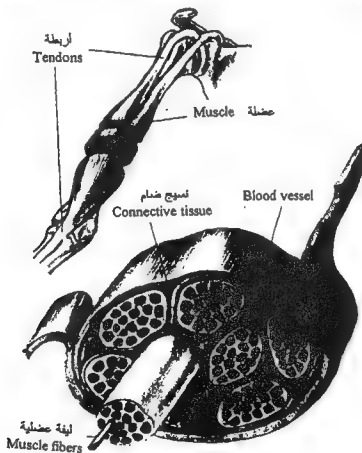
ومثل الخلايا العصبية للخلاية العضلية قابلة للتهيج **Excitable** فمعد تنشيط غشاء الليفة العضلية بواسطة ناقل عصبي **Neurotransmitter** من الأزرار النهائية لمحور خلية عصبية حركية **Motor**

neuron فإن ذلك يسبب تكوين نبضة عصبية تنتقل على طول غشاء الليفة العضلية. وطريقة إنتقال هذه النبضة هي نفس طريقة إنتقال نبضة عصبية على امتداد محور غير مياليني أو زائدة شجيرية. وعند تنشيط الألياف العضلية تتكشخ البروتينات المنقبضة داخل هذه الألياف مما يسبب إكماش الخلية العضلية نفسها. وبالإضافة لأن الخلايا العضلية قابلة للإقباض Contractile فهي مرنة Elastic ولها القدرة على العودة إلى الطول الطبيعي بعد إنتهاء الإقباض.



شكل (١٤-٢) : الشكل يوضح تركيب العضلات الهيكلية والميوفيبريل والساركومير. منقول عن مرجع رقم ٣ بقائمة المراجع

والليفة العضلية المفردة تمتد في بعض العضلات على كامل طول العضلة، بينما في معظم العضلات تكون الليفة العضلية قصيرة ومرتبطة على طول المحور الطولي للعضلة. وكل ليفة عضلية في العضلة الهيكلية تحاط بطبقة رقيقة من النسيج الضام تسمى Endomysium وهذه الألياف المفردة تتجمع في حزميات أو مجاميع Fascicles وهذه الحزميات ترتبط ببعضها أيضاً بواسطة نسيج ضام يسمى Perimysium ثم تتجمع الحزم العديدة مع بعضها حيث تغلف بواسطة غلاف من النسيج الضام والذي يغلف كل العضلة ويسمى Epimysium. والترتيب السابق يوفر دعامة وحماية للخلايا العضلية. وتتصل نهاية العضلة بالعظام بواسطة الأوتار Tendons وهذه الأوتار تتكون من حزم الألياف كولاجينية والتي هي عبارة عن اندماج للـ Epimysium في نهايات العضلة (شكل ١٤-٣). والوتر الذي يصل العضلات بالعظام يكون بعيداً في بعض الأحيان إلى حد كبير عن العضلة. فالعضلات المحركة توجد في الذراع وتتصل بالأسابع بواسطة أوتار طويلة جداً. وبسبب أن الوتر هو إمتداد

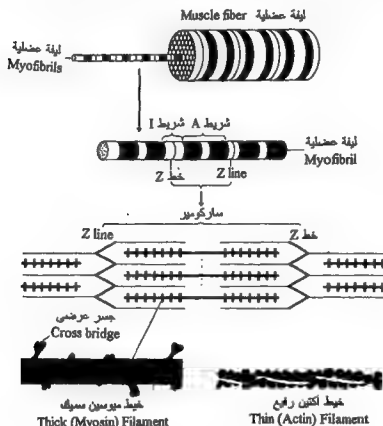


شكل (١٤-٣) : الشكل يوضح الألياف العضلية الأسطوانية في عضلة تتصل بالعظام بواسطة الأوتار.

للـ Epimysium ولأن الـ Perimysium والـ Endomysium متصلة به لذلك فإن إنقباض العضلة يستلزم بذل قوة كبيرة على نقطة اتصال الوتر بالعظام.

الفحص الميكروسكوبي للعضلات : The Microscopic Anatomy Of The Muscles

لمعرفة الطريقة التي تتقبض بها العضلة وكيفية موافقة تركيب العضلة لأداء وظيفتها يلزم لذلك الالتقاء بنظرة فاحصة على الليفية العضلية (شكل ١-١٤). فبعد فحص الليفية العضلية تحت الميكروسكوب نجد أنها عبارة عن إسطوانة طويلة محاطة بغشاء بلازمي وتحتوي على عدة أنوية.

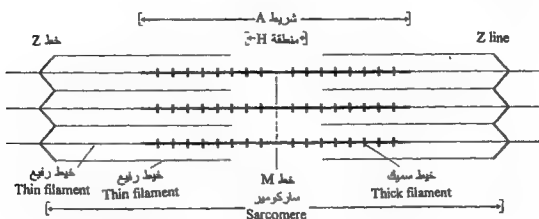


شكل (١-١٤) : ترتيب الخيوط في العضلة الهيكلية والتي تظهر الشكل المخطط لخلايا العضلات الهيكلية.

كما نشاهد سلسلة من حزم فاتحة وداكنة متعامدة على طول المحور الطولي للليفية العضلية (لاحظ أن هذه الحزم توجد في العضلات الهيكلية والقلبية ولا توجد في العضلات الملساء). وهذا التخطيط العرضي راجع إلى احتواء سيتوبلازم الليفية العضلية على ليفيات عضلية Myofibrils وهى عبارة عن تراكيب خيطية يبلغ قطرها ١-٢ μm وتمتد على طول الليفية العضلية Muscle fiber

(شكل ١٤-٤). وكل ليفة عضلية تتكون من خيوط رفيعة وخيوط سميكة. والخيوط السميكة **Thick filaments** هي عبارة عن بروتين يسمى **Myosin**. أما الخيوط الرفيعة **Thin filaments** فهي بروتين يسمى **Actin**. وكلا من بروتين الأكتين وبروتين الميوسين هي عبارة عن بروتينات إنقباضية **Contractile proteins**. والخيوط الرفيعة يبلغ قطرها نصف قطر الخيوط السميكة. بالإضافة إلى ذلك فالألياف العضلية تحتوى على بروتينين آخرين هما **Troponin** و**Tropomyosin** وهذان البروتينان يلعبان دوراً هاماً في عملية تنظيم الإنقباض العضلي.

والتخطيط الموجود بالليفات العضلية **Myofibrils** يرجع إلى وجود أشرطة داكنة تسمى أشرطة **A** أو **A-Bands** وأشرطة ضيقة فاتحة تسمى أشرطة **I** أو **I-Bands**. ويوجد ترتيب نمطي منظم للأشرطة الداكنة، هذا الترتيب هو الذى يظهر الشكل المخطط للمضلات الهيكلية (شكل ١٤-٤). وفى هذا الترتيب يمر خط رفيع فى منتصف كل **I-Band** ويشبه هذا الخط فى تدرجاته حروف **Z** المكسمة فوق بعضها ولذلك فهو يسمى خط **Z** أو **Z-line**، والمنطقة الواقعة بين كل خطين **Z** متجاورين تكون حجيرة عضلية تسمى **Sarcomere** (السااركومير) وهو عبارة عن الوحدة الوظيفية للخلية العضلية. وشكل ١٤-٤ يوضح أن السااركومير يحتوى على خيوط سميكة من بروتين الميوسين وتقع فى وسط السااركومير، وتحتوى أيضاً على خيوط رفيعة تتكون من بروتين الأكتين - وتمتد خيوط الأكتين من خط **Z** فى اتجاه مركز السااركومير مع ملاحظة أنها لا تتصل مع بعضها فى الوسط. ويوضح شكل ١٤-٥ أن شريط **A** (**A-Band**) يتكون فى كل حجيرة سااركومير من خيوط متداخلة



شكل (١٤-٥) : الشكل يوضح النظام النمطي لتوزيع الخيوط الرفيعة والسميكة فى سااركومير واحد.

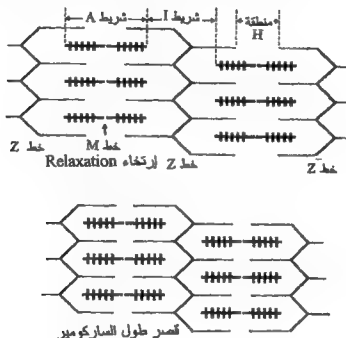
من الأكتين والميوسين وتتكون أشرطة I (I-Bands) من خيوط الأكتين فقط وخيوط الأكتين هذه لا تتقابل في الوسط لذلك تتكون منطقة ضيقة في وسط شريط A (A-Band) وهي منطقة H وتسمى H-Zone أو Hensen zone وهي منطقة لكافة نسبياً في وسط A-Band وتمثل المسافة بين نهايات مجموعة الخيوط الرفيعة في كل ساركومير ويوجد بها الأجزاء الوسطية فقط من الخيوط السمكية (شكل ٥-١٤). كما يوجد شريط ضيق غامق في منتصف منطقة H (H-zone)، وهذا الشريط يتكون من بروتين يربط كل الخيوط السمكية بالساركومير مع بعضها (شكل ٥-١٤)، وبالتالي يتضح لنا أن كلا من الخيوط السمكية والرفيعة لا توجد في صورة حرة حيث تتصل الخيوط الرفيعة بـ Z-line، وترتبط الخيوط السمكية مع بعضها بـ M line. هذا ويلاحظ أن أجزاء من جزئيات الميوسين تمتد من سطح الخيوط السمكية إلى الخيوط الرفيعة مكونة كبارى عرضية Cross bridges على مسافات منتظمة. وهذه الجسور أو الكبارى المرضية تعتبر مواقع توليد القوة Force-generating units في الخلايا العضلية وذلك لأنها تتصل مع الخيوط الرفيعة خلال الانتقال العضلي وتبذل قوة عليها وإذا فهي تعتبر مواقع توليد القوة.

آليات الإنقباض العضلي Mechanisms Of Muscles Contraction :

بالرغم من أن خيوط الميوسين والأكتين خيوط دقيقة جداً إلا أنها هي المسؤولة عن جميع إنقباضات العضلة. وكلمة إنقباض العضلة لا تعني قصر العضلة في الطول بقدر ما هي تعني أو تشير إلى تنشيط مواقع توليد القوة وهي الجسور المرضية في الليف. أما قصر العضلة في الطول فهو يأتي كنتيجة أن القوى الواقعة على الخيوط الرفيعة بواسطة الكبارى المرضية أكبر من القوى المضادة لقصر العضلة في الطول.

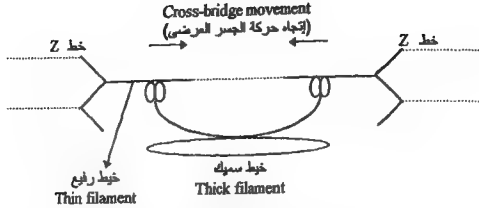
هذا ويتم عملية الإنقباض عن طريق تنشيط آليات العضلات الهيكلية بواسطة الإشارة العصبية Nerve impulse حيث يؤدي ذلك إلى ارتباط الجسور المرضية مع الخيوط الرفيعة وإنقباض العضلة. أو بمعنى آخر أنه عند إنقباض العضلة تنكمش كل حبيرة ساركومير حيث أثناء الإنقباض تتزلق خيوط الأكتين في اتجاه مركز حبيرة الساركومير حيث تتلامس في المركز. وبعد إنقباض العضلة تتوقف الآليات Mechanisms المتشعبة لتوليد القوة ويقل التوتر المتولد Tension generation وبذلك يتم ارتخاء Relaxation الألياف العضلية. ولك أن تتخيل عمليات الإنقباض والارتخاء بأن تمد يديك للأمام مع فتح الأصابع ووضع راحة اليدين في مواجهتك، وتخيّل أن أصابعك هي خيوط الأكتين وطبقاً تصور أن خيوط الميوسين بينها. وعند إنقباض العضلة تتزلق Slide خيوط الأكتين في كل جانب من

حجيرة الساركومير في اتجاه بعضها البعض حتى تتلامس في المركز. وعلى ذلك فكلما تؤدي القسوة المتولدة إلى قصر اللبنة العضلية تتحرك الجسور العرضية مما يؤدي إلى زيادة التداخل بين الخيوط السمكية والرفيعة في كل ساركومير Sarcomere (لاحظ أن هذه الخيوط تتزاق فقط ليزداد تداخلها أثناء الانقباض مع عدم حدوث أى تغير في أطوال هذه الخيوط) (شكل ١٤-٦). ويتم ذلك عن طريق تحرك كل جسر عرضي متصل مع الخيط الرفيع حركة دائرية ليدفعه من نهاية حزمة A إلى اتجاه



شكل (١٤-٦) : الشكل يوضح التغيرات في الخيوط الرفيعة والسبكة كنتيجة لقصر اللبنة العضلية.

الخط M مما ينتج عنه قصر طول الساركومير Sarcomere (شكل ١٤-٧). ويحدث ذلك في سلسلة من الخطوات تسمى دورة الجسر العرضي Cross Bridge Cycle وهي الخطوات التي تحدث ابتداءً من ارتباط الجسر العرضي بخيط رفيع حتى ارتباطه مرة أخرى به وتتكون هذه الدورة من أربع خطوات هي : ١- ارتباط الجسر العرضي بالخط الرفيع Thin filament ٢- تحرك الخيط الرفيع في اتجاه مركز الساركومير Sarcomere كنتيجة لأثر حركة الجسور العرضية ٣- انفصال الخيط الرفيع من الجسر العرضي ٤- ثم تحرك الجسر العرضي لياخذ وضع يمكنه الارتباط مرة أخرى بالخيط الرفيع لبدأ دورة جديدة. والجسور العرضية لا تعمل جميعها في

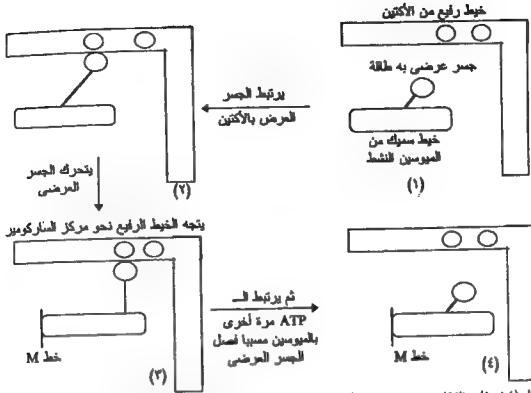


(شكل ١٤-٧) : الشكل يوضح أن الجسر العرضي في الخيط السميك يرتبط ببروتين الأكتين في الخيط الرفيع حيث تتغير هذه الجسور في الشكل مما يجعلها تجنب خيط الأكتين في إتجاه مركز الساركومير.

وقت واحد ففي لحظة واحدة من الانقباض العضلي يرتبط بالخيوط الرفيعة ٥٠% فقط من الجسور العرضية (لاحظ أن لكل جسر عرض حركة مستقلة عن باقي الجسور).

انقباض العضلة Muscle Contraction : قدرة العضلة على توليد الطاقة والحركة تعتمد على الارتباط بنوعين من البروتينات الانقباضية هما : ١- بروتين الميوسين Myosin وهو يتكون من عدد من جزيئات الميوسين وهي جزيئات على شكل مضرب الجولف وهي مرتبة بحيث تكون نهايات (رؤوس) المضرب متجهة ناحية خيوط الأكتين. وكل رأس تحتوي على موقع لربط الأكتين Actin-binding site وعلى موقع لربط إنزيم ATPase المحال للـ ATP (لاحظ أن إنزيم ATPase هو المحال لحامل الطاقة ATP حيث يسبب إفراز الطاقة الكيماوية المخزنة به). ٢- بروتين الأكتين Actin أو خيوط الأكتين ويتكون كل خيط من عدد من جزيئات الأكتين وهي بروتينات كروية (متحولة) Globular proteins متصلة ببعضها كما تتمثل حبيبات الخرز في العقد. وهذا البروتين مبلمر ليكون سلسلتين ملتفتين على شكل لولب Helical chain حيث تكون مركز الخيوط الرفيعة. وكل جزء لكتين يحتوي على مكان للارتباط والذي تتصل به جسور الميوسين العرضية.

هذا وبالإضافة إلى هذين النوعين من البروتينات (ميوسين وأكتين) فالانقباض العضلي يعتمد على الطاقة المنفرزة من حامل الطاقة ATP. هذا والشكل ١٤-٨ يوضح تصور للمراحل الأربعة لدورة الجسر العرضي.



شكل (٨-١٤) : الشكل يوضح المراحل الأربعة لدورة الجسر العرضي Stages of cross bridge cycle في حالة راحة الألية العضلية يبدأ الانقباض بارتباط الجسر العرضي بالأكتين في الخيوط الدقيقة ثم يتحرك الجسر العرضي موجهاً الأكتين إلى مركز الساركومير ثم يفصل الجسر العرضي مرة أخرى عن الأكتين حيث يؤدي ارتباط الـ ATP وفصله عنه إلى كسر الرابطة المتكونة بين الأكتين والميوسين مما يسمح بتكرار الدورة.

والشكل السابق (شكل ٨-١٤) يتضح منه أنه عند نهاية الدورة رقم ٤ يتحلل حامل الطاقة ATP المرتبط بالميوسين مفرزاً الطاقة كيميائية ترتبط بالميوسين (M) فيصبح الميوسين نشطاً (M*) وتظل نواتج التحلل وهي الفوسفور والـ ADP مرتبطة به، وعند تنشيط الألية العضلية للانقباض تبدأ دورة جديدة بالخطوة رقم ١ حيث يرتبط الجسر العرضي للميوسين بالنشط مع جزء الأكتين في الخيوط العضلية الرفيعة، وهذا الارتباط يسبب تحرير الطاقة المخزنة في الميوسين مما يسبب تحريك الجسور العرضية المرتبطة (المرحلة الثانية) حيث يفصل كلا من الفوسفور، ADP من الميوسين (المرحلة الثالثة). وبالتالي فهنا قد نشأ ارتباط قوى بين الميوسين والأكتين أثناء حركة الجسم العرضي وهذا الارتباط لابد أن يتم تكسيره حتى تبدأ الدورة من جديد، ويتم هذا التكسير عن طريق إعادة ربط حامل الطاقة ATP بالميوسين حيث يؤدي هذا الارتباط فقط (وليس تحلل ATP) إلى كسر الروابط المتكونة

بين الميوسين والأكتين، وبعد انفصال الميوسين عن الأكتين يبدأ تحلل ATP المرتبط بالميوسين (المرحلة الرابعة) حيث تبدأ الدورة في إعادة نفسها لو كان هناك تنشيط للليفة العضلية.

ويجدر الإشارة هنا أن الدور الذي يقوم به ATP هو إنتاجه للطاقة اللازمة لحركة الجسر العرضي بالإضافة إلى أن ارتباطه فقط بالميوسين يسبب كسر الروابط بين الميوسين والأكتين. وهذا يفسر لنا ما يحدث في حالة الوفاة حيث تتصلب العضلات الهيكلية بعد ٣-٥ ساعات من الوفاة ويكمل هذا التصلب بعد مرور ١٢ ساعة تقريباً وتسمى هذه الخطوات بخطوات التيبس الرومى Rigor mortis ويحدث ذلك كنتيجة لنقص تركيز حاملات الطاقة ATP في الخلايا كنتيجة لعدم إمداد هذه الخلايا بالعناصر الغذائية والأكسجين اللازمان لتصلب الـ ATP. وبالتالي ففي هذه الحالة يستمر ارتباط الخيوط السمكة والرقمية مسبباً تصلب العضلة الميتة، ثم يختفى هذا التصلب بعد الوفاة بعد ٤٨-٦٠ ساعة كنتيجة لتحلل أنسجة العضلة.

حالتى الانقباض والراحة للعضلة : نور الاستروبونين والتروبوميوسين والكالسيوم فى

الإنقباض: Role Of Troponin, Tropomyosin And Calcium In Contraction

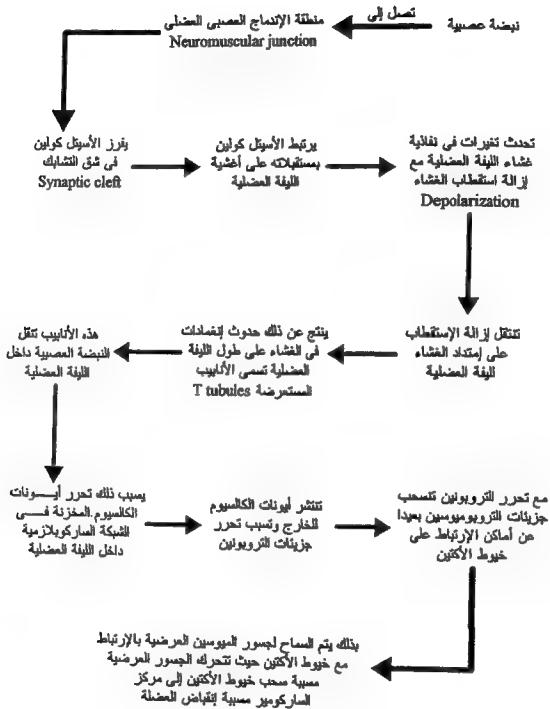
بطبيعة الحال فالعضلات الهيكلية ليست في حالة انقباض مستمر فهناك فترات راحة للخلايا العضلية Resting muscle fibers حيث لا تستطيع الجسور العرضية في هذه الفترات الارتباط مع الأكتين والسبب في ذلك يرجع إلى وجود البروتينين المنظمين وهما التروبونين والتروبوميوسين. ففي حالة راحة العضلة تغطي أماكن الارتباط على جزيئات خيط الأكتين جزئياً بروتين التروبوميوسين (Tropomyosin) وهو بروتين خيطي طويل يحرس أماكن الارتباط حيث يمنع الجسور العرضية من الارتباط مع خيوط الأكتين أثناء راحة العضلة). والسبب في بقاء جزيئات التروبوميوسين في مكانها هو بروتين منظم آخر يسمى التروبونين Troponin. وبالتالي فإن إزالة هذا الحارس (Tropomyosin) ينشط انقباض العضلة، أو بمعنى آخر أن انقباض العضلة متوقف على إزالة هذا الحارس.

وإزالة هذا الحارس يتم عن طريق نبضة عصبية ينتج عنها سلسلة من الحوادث تؤدي في النهاية إلى إزالة هذا الحارس، هذه السلسلة من الأحداث نسردها في النقاط التالية: ١- عند حدوث نبضة عصبية إلى الآلية العصبية المندمجة مع الليفة العضلية (تسمى هذه منطقة الاندماج العضلي العصبى Neuromuscular junction) وهي منطقة تشابك (انتران) Synapses بين نهاية محور خلية عصبية حركية Motor neuron و خلية عضلية. فعند وصول نبضة عصبية يفرز الناقل العصبى Acetylcholine من الأزرار النهائية في شق التشابك Synaptic cleft (وهو المسافة بين الأزرار النهائية والغشاء البلازمي للليفة العضلية) ويرتبط الـ Acetylcholine مع مستقبلاته على غشاء الليفة العضلية. ٢- وينتج عن هذا الارتباط تنشيط حدوث تغيرات في نفاذية غشاء الليفة العضلية مسبباً

إزالة استقطاب Depolarization الغشاء، وينتقل إزالة الاستقطاب على امتداد الغشاء البلازمي للليف العضلية. ٣- ينتج عن ذلك إتمادات عميقة في الغشاء على طول الليف العضلية وهذه الإتمادات تسمى الأنابيب المستعرضة Transverse tubules وإختصارها T-tubules وهذه الأنابيب المستعرضة تقوم بنقل النبضة إلى داخل الليف العضلية ٣- ينتقل النبضة العصبية إلى داخل الليف العضلية وينشط تحرر أيونات الكالسيوم المخزنة داخل الليف العضلية في الشبكة الإندوبلازمية المساء (لاحظ أنها تسمى في الألياف العضلية بالشبكة الساركوبلازمية (أو الشبكة الإندوبلازمية للحموية) Sarcoplasmic Reticulum وهي تقع بالقرب من الأنابيب المستعرضة T-tubules ٤- تنتشر أيونات الكالسيوم المحررة إلى الخارج في الليف العضلية وتتصل مع جزيئات البروتين المنظم تروبونين Troponin وبذلك تحرر جزيئات التروبونين (لاحظ أن التروبونين هو المسبب لبقاء البروتين المنظم تروبوميوسين والذي يخلق مواقع الارتباط الموجودة على خيوط الأكتين) ٥- مع تحرر جزيئات التروبونين تترلق (تتسحب) جزيئات التروبوميوسين بعيدا عن أماكن الارتباط على خيوط الأكتين الأمر الذي يسمح لجسور الميوسين العرضية بالارتباط مع خيوط الأكتين ٦- تنقبض الجسور العرضية وتجذب خيوط الأكتين إلى الداخل (مركز الساركومير) مسببة انقباض الخلية العضلية. ويمكن إختصار هذه السلسلة من الخطوات في الشكل رقم ١٤-٩.

والانقباض ينتهي بعد حدوث صلبة نقل نشط Active transport لأيونات الكالسيوم لتعود إلى الشبكة الساركوبلازمية (الإندوبلازمية الحموية) Sarcoplasmic reticulum مما يسبب انخفاض مستوى الكالسيوم. ومع انخفاض مستوى الكالسيوم يتحرك بروتين التروبوميوسين إلى مكانه ليخفي أماكن الارتباط على خيوط الأكتين وتسمى هذه الآلية بنظرية الانزلاق الخيوط العضلية Sliding Filament Theory.

التشد العضلي (التوتر العضلي) Muscle Tension : يعرف التوتر العضلي بأنه القوة التي تبذلها العضلة المنقبضة على الشيء (الذي تقاومه العضلة). كما يعرف الحمل العضلي Muscle load بأنه النقل الذي تحركه (أو تقاومه) العضلة. ومن هذان التعريفان يتضح أن قوة التوتر العضلي متضادة (متعارضة) مع الحمل العضلي. ولتفصيل هذه العملية يمكننا أن نتصور أن هناك سيارة بدون موتور موجودة في وسط منحدر ومجموعة من الأشخاص تنفع هذه السيارة إلى أعلا المنحدر وبالتالي فهناك ثلاثة احتمالات هي إما أن تتمكن هذه المجموعة من دفع السيارة لأعلى المنحدر وفي هذه الحالة تكون قوة مجموعة الأفراد أكبر من حمل (ثقل) السيارة المعارض. أو تتمكن مجموعة الأفراد من إبقاء السيارة ساكنة في وسط المنحدر وفي هذه الحالة تكون قوة مجموعة الأفراد مساوية لحمل أو ثقل السيارة أو الحالة الأخيرة وهي زيادة حمل أو ثقل السيارة عن قوة الأفراد وبالتالي تنفعهم إلى أسفل



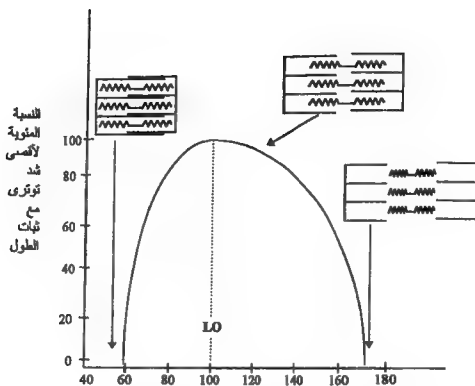
شكل (١٤-٩) : الشكل يوضح خطوات نقل النبرة العصبية لتسبب انقباض اللبلة العضلية.

المتحرك. فلو تصورنا أن مجموعة الألياف في هذا المثال هو التوتر العضلي وأن السيارة هي الحمل العضلي (الحمل المعارض) يمكننا تخيل ثلاثة أنواع من الانقباض هي : ١- الانقباض متساوي القوة **Isotonic Tension** ويحدث هذا الانقباض عند ثبات الحمل على العضلة مع حدوث قصر في طول العضلة (يحدث هذا الانقباض عندما تحرك العضلة حمل حيث تحرك الجصور المرضية لتسبب قصر الساركوميرات) ٢- الانقباض التوتري مع ثبات الطول **Isometric Tension** : وفي هذا النوع من الانقباض يحدث توتر في عضلة لكنها لا تقصر أو تزيد في الطول. ويحدث هذا النوع عندما تستند للعضلة حمل في وضع ثابت. أو في حالة محاولة تحريك حمل أكبر من للتوتر الحادث بالعضلة (لاحظ أنه في هذه الحالة لا تتمكن الجصور المرضية من تحريك الخيوط الرفيعة لكنها تحدث قوة عليها). ٣- الانقباض مع زيادة الطول **Lengthing Contraction** وهذا النوع من الانقباض يحدث عندما يكون الحمل المعارض أكبر من قوة التوتر العضلي (قوة الشد بواسطة الجصور المرضية) ولذلك فإن الحمل للمعارض يسبب جذب الجصور المرضية المرتبطة بخيوط الأكتين في اتجاه خط Z (*Z Line*) وليس في اتجاه مركز الساركومير (أي أن الحمل يجنب العضلات ويطيلها).

ولذلك فبالرغم من تشابه التغيرات الكيميائية الحادثة في البروتينات الانقباضية في كل أنواع الانقباض السابقة إلا أن نتائج الانقباض العضلي (وهي قصر العضلة أو عدم تغير طولها أو استطالتها) يحددنا قوة الحمل المعارض على العضلة.

أثر طول الليفة العضلية على التوتر العضلي (قوة الشد) **Effect Of Length Of**

Muscle Fibre On Tension : طول الليفة العضلية قبل الانقباض يؤثر على كمية الشد **Amount of tension**. وطول الليفة العضلية قبل الانقباض المولد لأقصى قوة شد يسمى بالطول الأمثل **Optimal Length** واختصاره **OL**. والشكل (١٤-١) يوضح العلاقة بين طول الليفة وقوة الشد (التوتر). فعند الطول الأمثل تكون قوة الشد لأقصاها، وعندما يكون طول الليفة ٦٠٪ من الطول الأمثل لا تحدث أي قوة شد في الليفة عقب تنبيهها ومع زيادة طول الليفة يزداد تدريجياً قوة الشد حتى تصل لأقصاها عند الطول الأمثل بعد ذلك لزيادة في الطول تؤدي إلى نقص قوة الشد حتى تقلد العضلة القدرة على الشد عند طول يساوي للطول الأمثل $\times 1,75$. هذا ويمكن إيضاح ذلك على أساس آليات إزلاق الخيوط. فالتداخل بين الخيوط الرفيعة والخيوط السمكية هو المؤثر على قوة الشد فعند طول ١٧٥٪ من الطول الأمثل لا يكون هناك تداخل بين الخيوط الرفيعة والخيوط السمكية وبالتالي لا يحدث أي ارتباط للجصور المرضية بخيوط الأكتين فلا تتولد أي قوة شد. وكلما نقص الطول عن ١٧٥٪ كلما زاد التداخل بين الخيوط تدريجياً مما يسبب زيادة تدريجية في قوة الشد حتى تصل لأقصاها عند الطول الأمثل. ثم بعد ذلك كلما نقص الطول عن الطول الأمثل كلما زاد تداخل



شكل (١٤-١٠) : الشكل يوضح بوضع طول النبة كملائة بقوة الشد (التوتر) ويوضح بالشكل أن الطول الأمثل LO هو الطول المولد لأقصى قوة شدّ وحما يكون طول النبة ١٠% لا يحدث أى قوة شدّ وتزداد قوة الشدّ تدريجياً مع زيادة طول النبة إلى أن تفقد العضلة القدرة على الشدّ عند طول لبنة يساوى ١٧٥% من الطول الأمثل.

مجموعتى الخيوط الرفيعة عند النهايتين المتقابلتين للساكوميير وبالتالي يقل ارتباط الجسور العرضية فى مناطق التداخل المزدوج.

قوة الإنقباض والإنقباضات المتكررة **Strength of Contractions And Graded Contractions**
Contractions : النبة العضلية المفردة تنقبض بأقصى قوة عند تنشيطها بواسطة جهد فعل **Action potential** وبالتالي فالألياف العضلية المفردة تتبع قانون الكل أو لا شئ **All-or-none Low** والإنقباضة المفردة التى يتبعها إنبساط تسمى إرتعاشه (**الإنقباضه**) **Twitch**. ويلاحظ وجود فترة كمون **Lag period** قصيرة بين تكوين النبضة فى النبة العضلية وقيل بداية الإنقباض والسبب فى وجود فترة الكمون هذه عدة عوامل منها ثلاثة عوامل أساسية على الأكل وهى ١- لوقت اللزوم **انتقال** **جهود الفعل** داخل القنات المستعرضة **T-tubules** ٢- لوقت اللزوم **انتشار الكالسيوم** خارج

الشبكة الإندوبلازمية للحبة Sarcoplasmic reticulum ولا يتأمله مع السـ Troponin. ٣-
لوقت اللازم لبدا إنزال الخيوط العضلية.

وكما يتطلب انقباض العضلة فترة من الوقت يتطلب انقباض العضلة فترة أيضا من الوقت لازمة لضخ أيونات الكالسيوم مرة أخرى إلى الشبكة الماركوبلازمية.

وبالرغم من أن الليفة العضلية المفردة تتقبض بأقصى درجة عند تنشيطها إلا أن العضلة الهيكلية ككل Whole Muscle تنتج انقباضات مختلفة القوة أو انقباضات متدرجة. والسبب في قدرة العضلة الهيكلية على إنتاج الانقباضات المتدرجة Graded Contractions ناتج عن عمليتين مختلفتين هما أ- التجنيد ب- الجمع الموجي

أ - التجنيد Recruitment تجنيد الوحدات الحركية Recruitment of motor units هو عبارة عن الإشتراك المنشط لعدد من الألياف العضلية أثناء الانقباض. ومن المعلوم أن تحريك أي جزء من أجزاء الجسم حتى لو كان جفن العين يتطلب عمل أكثر من خلية عضلية واحدة. لكن الخلية العصبية الواحدة يمكنها توصيل نبضات عصبية لأكثر من ليفة عضلية حيث أن محور هذه الخلية يكون لروعا عديدة عند وصوله إلى العضلات والخلية العصبية الحركية Motor neuron والألياف المتصلة للعضلة بها تكون وحدة حركية Motor unit. وكلما كان التنظيم عام كلما زاد عدد الألياف العضلية في الوحدة الحركية وكلما كان التنظيم دقيق كلما قل عدد الألياف العضلية في الوحدة الحركية ولذلك فالخلية العصبية المحركة لعضلات الأرجل تتصل بحوالي ٢٠٠٠ ليفة عضلية (المعنى هنا أنها وحدة حركية مكونة من خلية عصبية متصلة بـ ٢٠٠٠ ليفة عضلية) وجميع هذه الألياف العضلية تعمل مرة واحدة. أما الخلية العصبية المسؤولة عن حركة العين مثلا (تنظيم دقيق) فلا تتصل إلا بعشرات محدودة من الألياف العضلية وهذا يوفر درجة أكبر من التنظيم.

وطبيعي أنه كلما زادت عدد الخلايا العصبية الحركية Motor neurons المنشطة لعضلة ما كلما زادت قوة إنتاجية هذه العضلة وبالتالي فالجهاز العصبي المركزي CNS يعمل على تجنيد خلايا عصبية حركية إضافية عند الحاجة لزيادة قوة الانقباض في كل العضلات.

ب- الجمع الموجي Wave Summation : الجمع الموجي يحدث عند وصول النبضة العصبية إلى الألياف العضلية قبل وصول الألياف العضلية إلى حالة الاسترخاء (أي وصول النبضة العصبية والليفة العضلية بها بعض الانقباض) ففي هذه الحالة تتقبض الألياف بقوة أكبر أي أن الانقباضة الثانية تمتلئ ظهر الانقباضة الأولى ولهذا فقد سميت هذه العملية بالجمع الموجي.

التقلص العضلي المستمر Tetanus : إذا تكررت النبضات العصبية بدرجة كبيرة فينتج انقباض سلس مستمر في الألياف العضلية، ويحدث ذلك عند رفع حمل بواسطة الأزرع فعضلات

الأزرع تنقبض لتسند الحمل وتبقى منقبضة طوال هذه العملية وإستمرار هذا الإنقباض يلكس قوة يسمى التقلص العضلى المستمر Tetanus. وهذه الانقباضات العضلية المستمرة تسبب إجهاد للعضلة Muscle Fatigue حيث تتوقف العضلة عن الإنقباض بالرغم من إستمرار التنبيه المصحبى.

وهناك نوع آخر من التقلص العضلى وهو تقلص عضلى جزئى مستمر Muscle Tone وهذا النوع من التقلص لازم للمحافظة على وضع الجسم ولولا هذا النوع من التوتر لوقع الإنسان أو الحيوان بكامله على الأرض. وينتج التقلص الجزئى المستمر للعضلة بواسطة إقباض عدد من الألياف العضلية خلال فترات عدم النشاط وإقباض هذا العدد المحدود من الألياف العضلية يكفى لإبقاء العضلات مشدودة بدرجة قليلة.

الألياف العضلية السريعة والبطيئة الارتعاش Fast And Slow Twitch Muscle Fibers : هناك نوعان من ألياف العضلات الهيكلية وهما ألياف سريعة الارتعاش وألياف بطيئة الارتعاش. والعضلات الهيكلية تحتوى على نسب مختلفة من كلا من الألياف البطيئة والسريعة الارتعاش. ففي الرياضيين والدافئون لمسافات طويلة الذين يستطيعون الجرى لمسافات طويلة بدون تعب تحتوى أجسامهم على نسبة أعلا من الألياف بطيئة الإنقباض (الارتعاش) ولذلك لمدهم قوة تحمل غير عادية.

أما السباحون لمسافات قصيرة والذين يحتاجون لإندفاعات مفاجئة فتحوى أجسامهم على نسبة أعلا من الألياف العضلية السريعة الارتعاش.

وهناك فروق تكوينية وتشريحية بين هذين النوعين من الألياف. فالألياف بطيئة الإنقباض لكل حهما من الألياف سريعة الإنقباض. وتحتوى الألياف بطيئة الإنقباض على كميات كبيرة من بروتين الميوجلوبين Myoglobin وهو بروتين موجود فى الميتوكوندريا ويرتبط مع الأكسجين. مثل الهيموجلوبين الموجود فى كريات الدم الحمراء. وخلال التدريب الرياضى يقوم بروتين الميوجلوبين بتحرير الأكسجين فى خلايا العضلة حسب الحاجة. كما تحتوى الألياف العضلية بطيئة الإنقباض على ميوسين له ATPase أقل نشاطا والذي يقع كما ذكرنا من قبل فى جسور الميوسين العرضية ويسبب تحلل ATP خلال عملية إقباض العضلة. وهو المصحب أساسا لخواص الألياف بطيئة الإنقباض.

أما بالنسبة للألياف سريعة الإنقباض فهى أكبر حجما وبعض منها يحدث له إجهاد بسهولة وهذه الألياف السهلة الإجهاد تحتوى على ميوسين له ATPase أكثر نشاطا من تلك فى الألياف العضلية بطيئة الإنقباض.

وكما ذكرنا من قبل فالعضلات الهيكلية تحتوى على كلا من الألياف السريعة والبطيئة الإنقباض وهذا يعطى مدى واسع للعضلة للتأقلم بوظائفها وقت الحاجة لكن بعض العضلات التى تقوم

تتربها بوظيفة واحدة فيكون بها نسبة أكبر من الألياف الموائمة لهذه الوظيفة. فمثلا عضلات الظهر تمود فيها الألياف البطيئة الانقباض لأن هذه العضلات تعمل طوال ساعات اليقظة للمحافظة على وضع الجسم. وهذه العضلات ليست في حاجة إلى الانقباض (الارتعاش السريع) لكنها في حاجة أن تتأوم الإجهاد.

أما بالنسبة لعضلات مثل عضلات اليد فمستوى فيها الألياف العضلية سريعة الارتعاش (الانقباض) القابلة للإجهاد وذلك لأن اليد مطلوب فيها بعض الحركات السريعة مثل لمسب التنس أو الإرشادات التي يقطعها الشخص عندما يخاطب شخص آخر ... الخ. هذه العضلات تجهد بسهولة.

هذا ويشير بعض العلماء أن نسبة كلا النوعين من الألياف السريعة والبطيئة الانقباض في العضلات الهيكلية بجسم الشخص الرياضي هو أحد أسباب تفوق شخص على شخص آخر في لعبة معينة. فقد وجد أن العدائون لمسافات طويلة تحتوي عضلاتهم الهيكلية على نسبة كبيرة من الألياف بطيئة الانقباض وقد يكون ذلك راجع لعوامل وراثية، كما وجد أيضا إحتواء عضلاتهم الهيكلية على نسبة عالية من ATP سواء وقت الراحة أو وقت التدريب الرياضي حيث يوفر لهم ذلك طاقة أكبر لإنقباض العضلات. ولذلك فالشخص الرياضي الذي له القدرة على الإحتمال يبدأ قيامه بالتدريب الرياضي بمخزون أكبر من الطاقة (ATP) ويحافظ على هذا المخزون بإمداد أكبر من ATP أثناء قيامه بالتدريب الرياضي.

الباب الخامس عشر

جهاز الغدد الصماء

The Endocrine System

مقدمة Introduction : من الضروري بالنسبة للكائنات عديدة الخلايا أن يكون هناك نظام متكامل ينظم وظيفة هذه الخلايا المتميزة والمختلفة للتخصص. وحتى عام ١٩٨٨م كان المعروف أن هناك جهازين فقط يقومان بتنسيق وتنظيم وظائف والنشاط التكافلي لخلايا الجسم المختلفة وهذان الجهازان هما ١- الجهاز العصبي The nervous system ٢- وجهاز الغدد الصماء The Endocrine System.

فالجهاز العصبي يقوم بإرسال إشارات كيميائية كهربية Electrochemical signals حيث يرسل تنبيهات إلى أعضاء الجسم الخارجية كما يقوم باستقبال معلومات منهم، أما جهاز الغدد الصماء فيؤدي وظائفه التنظيمية عن طريق تخليق وإفراز مواد كيميائية عضوية (تسمى هرمونات) والتي تنتقل من مكان إفرازها عن طريق مجرى الدم إلى النسيج أو العضو الهدف Target tissue or organ لتؤثر فيه وفي بعض الأحيان تؤثر الهرمونات على خلية مجاورة للخلية التي إفرازتها Paracrine function أو قد تؤثر ذاتيا على نفس الخلية التي إفرازتها Autocrine function.

والجهاز العصبي والجهاز الغدي مرتبطان عصبيا وأهم هذه الارتباطات هو منطقة تحت المهاد Hypothalamus للموجودة بالمخ والتي تعتبر حلقة الوصل الرئيسية بين الجهاز العصبي وجهاز الغدد الصماء.

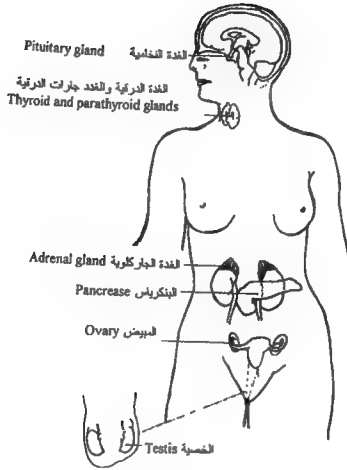
والجهاز العصبي وجهاز الغدد الصماء يعملان كوحدة تكامل مع بعضهما حيث يقوم كلا من الجهازين بتنظيم وظائف الجهاز الآخر ومثالاً لذلك فالهيبوثالامات تفرز الهرمونات العصبية Neurohormones التي تنظم إفرازات الغدة النخامية. وأيضا فالهرمونات الإسترويدية المفرزة من كلا من الغدة الجنسية وقشرة الغدة الجار كلبية تعمل مباشرة على الجهاز العصبي لتنشط الخلايا العصبية بالهيبوثالامات التي تتحكم في إفراز الـ Pituitary gonadotropins عن طريق إفرازها للعامل المنشط للهرمون المحرض للتبويض Luteinizing hormone-releasing hormone (LHRH) وأيضا العامل المنشط لإفراز هرمون ACTH وهو Corticotropin releasing hormone (CRH) وأمثلة كثيرة جدا سوف نعرض لها في الجزء القادم بإذن الله.

وبناء على هذه العلاقة المتداخلة بين الغدد الصماء ومكونات الجهاز العصبي المركزي والتي تنظم وظيفة هذه الغدد الصماء قد سمي الجهازين معا بالـ **Neuroendocrine system** والعلم الذي يدرس هذين الجهازين معا بالـ **Neuroendocrinology**.

والنقدم في هذا المجال أوضح أن الـ **Neuroendocrine system** لا يعمل بفرده ولكن ينظم عمله جهاز لم يكن متوقع وهو الجهاز المناعي **The immune system** وسوف نتعرض في نهاية هذا الباب بإذن الله إلى العلاقة ما بين الجهاز المناعي والـ **Neuroendocrine system**.

جهاز الغدد الصماء The Endocrine System: يتكون جهاز الغدد الصماء من عدة غدد موجودة في الجسم (شكل ١٥-١). وهذه الغدد تقوم بتخليق وإفراز مواد كيميائية عضوية تسمى الهرمونات **Hormones**. وهذه الغدد لا توجد لها قنوات (غدد لا قنوية **Ductless glands**) وتسمى الغدد الصماء **Endocrine glands** وهي عبارة عن مجاميع من الخلايا الجسمية تخصصت في إفراز هذه الهرمونات. وهذه الهرمونات إما أن تنتقل عن طريق الدم إلى مكان بعيد عن مكان الإفراز لتؤثر على خلية أو عضو هدف **Target cell or organ** أو تؤثر على خلية مجاورة للخلية التي أفرزتها **Paracrine function** أو تؤثر ذاتيا على الخلية التي أفرزتها **Autocrine function**. فهرمون الإंसولين مثلا يفرز من خلايا β -cells بجزر لانجرهانز بالبنكرياس وينتقل عن طريق الدم إلى خلايا الكبد والمضلات الهيكلية ويجعلها تمتص الجلوكوز من الدم لإنتاج الجلوكوجين. وهرمون الإंसولين نفسه يفرز من خلية β -cell في السوائل بين الخلايا ليؤثر على خلية α -cell المجاورة لها حيث يثبط إفرازها لهرمون الجلوكاجون **Paracrine function**. أما بالنسبة للتأثير الذاتي **Autocrine function** فهرمون الإستروجين المفرز من الخلية المبيضية يؤثر على نفس الخلية التي أفرزته حيث يزيد عدد مستقبلاته بها.

وفي السنوات الأخيرة إتضح أن هناك أعضاء أخرى بالجسم ليست وظيفتها الأولى هي إنتاج الهرمونات ولكنها تقوم بإفراز هرمونات أو هي تقوم بتخليق هرمونات من الـ **Precursor** الخاصة بها عندما تمر مع الدم في هذا العضو ومن هذه الأعضاء هي المعدة **Stomach** والأمعاء الدقيقة **Small intestine** والمخ **Brain** والقلب **Heart** والكلى **Kidney** والكبد **Liver**.



شكل (١٥-١) : الشكل يوضح مواقع الغدد الصماء في الإنسان (الغدة النخامية - الغدة الدرقية - الغدة الجاركلوية - البنكرياس - المبيض - الخصية).
 منقول عن مرجع رقم ٢١ بقائمة المراجع.

ونجد في جدول ١٥-١ هرمونات الغدد الصماء وأماكن إنتاجها وتركيبها الكيميائي وأثرها

الترابسي.

أما جدول ١٥-٢ فنجد فيه بعض الأعضاء الأخرى بالجسم والتي ليست وظائفها الأولى إنتاج الهرمونات ولكنها تقوم بإفراز الهرمونات .

جدول (١٥-١) : هرمونات الغدد الصماء وأماكن إنتاجها وتركيبها الكيميائي وأثرها الرئيسي

أثره الرئيسي	تركيبه الكيميائي	الهرمون المفرز	اسم الغدة
التمثيل الغذائي (عادة إمتصاص للصوديوم وقد البوتاسيوم عن طريق الكلية خصائص الجنس الثانوية في الأنثى)	Steroid Hormones	Glucocorticoids (Cortisol and Corticosterone) & Aldosterone	Adrenal Cortex قشرة الأدرينال
المحافظة على الحمل	Steroid Hormone	Estrogens	Ovarian Follicles الحويصلات المبيضية
الخصائص الجنسية في الذكر	Steroid Hormone	Progesterone	Corpus Luteum الجسم الأصفر
يرفع أو يزيد معدل التمثيل الغذائي المساعد أو الأساسي Basal metabolic rate ويساعد على النمو والتضيق والتشكل	Steroid Hormone	Testosterone	Testis الخصية
يزيد معدل استهلاك الأكسجين O ₂ Consumption ويزيد هدم الجليكوجين Glucogen Breakdown ومعدل ضربات القلب وتنقبض الدم في عضلات الجسم.	Amino acid derivatives مشققات الأحماض الأمينية	Thyroxine (T ₄) Triiodothyronine (T ₃)	Thyroid gland الغدة الدرقية
يعمل على زيادة كالمسيوم الدم وينقص فوسفات الدم ينظم ضغط الدم Circulatory adjustment	Catecholamine	Epinephrine (E) (Adrenaline)	Adrenal medulla
ينقص جلوكوز لدم	Catecholamine	Norepinephrine (NE) (Noradrenaline)	Adrenal medulla and Sympathetic nervous system
يزيد سكر الدم (الجلوكوز)	Protein Hormone هرمون بروتيني	Insulin	Pancreas
يفرز من الهيبوثالامات وينشط إفراز هرمون النمو والهرمون المنبه للغدة الدرقية كما يفرز من البانكرياس وينشط إفراز الحامض المعوي وإفرازات البانكرياس والحركة المعوية	Protein Hormone هرمون بروتيني	Glucagon Somatostatin	Pancreas Pancreas and Hypothalamus

وتنجد في جدول ١٥-١ هرمونات الغدد الصماء ولما كان إنتاجها وتركيبها الكيميائي وأثرها الرئيسي.

أما جدول ١٥-٢ فنجد فيه بعض الأعضاء الأخرى بالجسم والتي ليست وظيفتها الأولى إنتاج الهرمونات ولكنها تقوم بإفراز الهرمونات .

جدول (١٥-١) : هرمونات الغدد الصماء ولما كان إنتاجها وتركيبها الكيميائي وأثرها الرئيسي

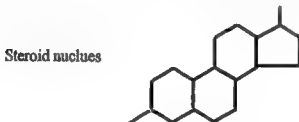
اسم الغدة	الهرمون المفرز	تركيبه الكيميائي	أثره الرئيسي
Adrenal Cortex قشرة الأدرينال	Glucocorticoids (Cortisol and Corticosterone) & Aldosterone	Steroid Hormones	التمثيل الغذائي إعادة امتصاص الصوديوم وإفراز البوتاسيوم عن طريق الكلية
Ovarian Follicles الحويصلات المبيضية	Estrogens	Steroid Hormone	خصائص الجنس الثانوية في الأنثى
Corpus Luteum الجسم الأصفر	Progesterone	Steroid Hormone	الحفاظ على الحمل
Testis الخصية	Testosterone	Steroid Hormone	الخصائص الجنسية في الذكر
Thyroid gland الغدة الدرقية	Thyroxine (T ₄) Triiodothyronine (T ₃)	Amino acid derivatives مشتقات الأحماض الأمينية	يرفع أو يخفض معدل التمثيل الغذائي للقاعدي أو الأساسي Basal metabolic rate ويساعد على النمو والتضخم والتشكل
Adrenal medulla	Epinephrine (E) (Adrenaline)	Catecholamine	يزيد معدل استهلاك الأكسجين O ₂ Consumption ويزيد هدم الجليكوجين Glucogen Breakdown ومعدل ضربات القلب وتدفق الدم في عضلات الجسم.
Adrenal medulla and Sympathetic nervous system	Norepinephrine (NE) (Noradrenaline)	Catecholamine	يعمل على زيادة كالسيوم الدم ونقص فوسفات الدم Circulatory ينظم ضغط الدم adjustment
Pancreas	Insulin	Protein Hormone هرمون بروتيني	ينقص جلوكوز الدم
Pancreas	Glucagon	هرمون بروتيني	يزيد سكر الدم (الجلوكوز)
Pancreas and Hypothalamus	Somatostatin	هرمون بروتيني	يفرز من الهيبوثالامات ويثبط إفراز هرمون النمو والهرمون المنبه للغدة الدرقية كما يفرز من البانكرياس ويثبط إفراز الحامض المعوي وإفرازات البانكرياس والحركة المعوية

اسم الغدة	الهرمون المفرز	تركيبه الكيميائي	أثره الرئيسي
Anterior Pituitary الأمامي للغدة النخامية	Thyroid stimulating Hormone (TSH) الهرمون المنبه للغدة الدرقية	Glycoprotein	ينشط الغدة الدرقية
النفس الأمامي للغدة النخامية	Luteinizing Hormone (LH) الهرمون المحدث للتبويض	Glycoprotein	في الإناث يساعد على التبويض بالتعاون مع FSH كما يساعد على تكوين الجسم الأصفر وفي الذكور يساعد على إفراز هرمون التستسترون من الخصية
النفس الأمامي للغدة النخامية	Follicle Stimulating Hormone (FSH) الهرمون المنبه للحويصلات المبيضية	Glycoprotein	في الإناث ينشط نمو حويصلات المبيض ويتعاون مع LH في تنشيط إفراز هرمون الـ Estrogen أما في الذكور فينشط نمو القنبيك المنوية وتكوين الحيوانات المنوية
النفس الأمامي للغدة النخامية	Growth Hormone (GH) or Somatotrophic Hormone (STH) هرمون نمبه نمو الخلايا الجسمية	Protein Hormone هرمون بروتيني	يساعد على النمو بوجه عام ويشط التمثيل الغذائي له دور كبير في نمو العظام والمضلات
النفس الأمامي للغدة النخامية	Prolactin (PRL)	هرمون بروتيني	يبنه إنتاج اللبن من الغدد اللبنية في الثدي وينشط الجسم الأصفر في بعض الثدييات
النفس الأمامي للغدة النخامية	Adrenocorticotrophic Hormone (ACTH) الأوكسيتوسين	هرمون بروتيني	ينشط قشرة الغدة الجاركلوية Adrenal cortex
يكون في الـ Hypothalamus ويخزن في النفس الخلفي للنخامية	Oxytocin	Peptide Hormone هرمون ببتيدي	ينشط إفراز اللبن من الغدة اللبنية عن طريق تنشيط الـ Myoepithelial cells وينشط انقباض عضلات الرحم
يكون في الـ Hypothalamus ويخزن في النفس الخلفي للنخامية	Vasopressin or Antidiuretic Hormone ADH	هرمون ببتيدي	ينظم الإكتران المائي في الخلايا - يزيد امتصاص الماء بواسطة الكلية والجرعات العالية منه تسبب انقباض للأوعية الدموية ولذلك سمي بالـ Vasopressin
النفس الأوسط للنخامية Intermedia	Melanocyte Stimulating Hormone MSH		يسبب إسمرار الجلد عن طريق تأثيره على الخلايا التي تقوم بإفراز صبغة الميلانين

تركيبه. وهذه المجموعة من الهرمونات تشمل هرمونات ACTH & PRL & GH & TSH & LH & FSH وهي كل هرمونات القوس الأمامي للغدة النخامية وأيضا بعض الهرمونات المفرزة من المعدة مثل Secretin والـ gastrin من الأثني عشر والـ Parathyroid Hormone وأيضا هرمون الـ Oxytocin، والـ Vasopressin وهرمون الأسولين وكذلك بعض هرمونات المشيمة والأمعاء الدقيقة....الخ.

٧- مشتقات الأحماض الأمينية Amino acid derivatives : وهذه المجموعة تشمل هرمونات الـ T₃ & T₄ المفرزة من الغدة الدرقية وهرمون الـ Epinephrine المفرزة من نخاع الأدرينال وهرمون الـ Norepinephrine المفرزة من نخاع الأدرينال وكذلك من نهايات الألياف العصبية السيمثاوية ومن أمثلة مشتقات الأحماض الأمينية أيضا الـ Dopamine والذي يعمل كـ Hypothalamic Releasing Hormone .

٣- الهرمونات الإسترويدية Steroid Hormones : ومن أمثلة هذه الهرمونات الـ Aldosterone & Cortisol والـ Adrenal Androgens أي تشمل كل الهرمونات المفرزة من قشرة الغدة الجاركلوية والخصية والمبيض Testosterone & Estrogens and progesterone وتشترك الهرمونات الإسترويدية في صفة واحدة هي وجود الـ Steroid Nucleus في تركيبها والهرمونات الإسترويدية مهمة في تنظيم عمليات الكربوهيدرات والأتزان المائي للمحى بالجسم ولها أهم دور في عمليات التكاثر وتتميز هذه الهرمونات بأن أي تغير بسيط في تركيبها الكيميائي يصحبه اختلاف وتغير كبير في الوظائف البيولوجية.



وظائف الهرمونات : Function of Hormones

الهرمونات مواد كيميائية عضوية توجد في الدم بكميات بسيطة جداً تتراوح بين عدة بيكوغرامات إلى عدة ميكروجرامات (لاحظ أن أجم - ١٠٠٠ ملوجرام = ١مليجرام = ١٠٠٠ ميكروجرام و ١ ميكروجرام = ١٠٠٠ نانوجرام و ١ نانوجرام = ١٠٠٠ بيكوغرام) وعليه فلكي يظهر الهرمون وظائفه البيولوجية (يؤدي عمله) لابد أن يرتبط أولاً مع مستقبل متخصص جداً له على أو في داخل الخلية Specific high-affinity cellular receptors. وهذه المستقبلات ممكن أن توجد على

جدار الخلية (كما في حالة الهرمونات الستيرويدية) أو ممكن أن تكون موجودة في سيتوبلازم الخلية والتي تنقل الهرمون إلى النواة ليؤثر عليها مثل الهرمونات الإسترويدية وهرمونات الغدة الدرقية. وأحد الخصائص الأخرى للهرمونات أنه يمكن لهرمون واحد أن يقوم بعدة وظائف بيولوجية مختلفة في الأنسجة المختلفة. وعلى العكس يمكن أن تقوم عدة هرمونات بتنظيم وظيفة واحدة Single function ومثالاً لذلك هو هرمون الـ Estradiol المفوز من المبيض، فهو يفرز من المبيض ويمكن أن يعمل على المويصلات المبيضية نفسها وينشط تميز خلايا الـ Granulosa cells ويمكن أن ينبه نمو الرحم. ويسبب إستدامة Cyclic change of the uterine mucosa، كما يعمل على خلايا المبيض مسبباً زيادة مستقبلاتها، كما يعمل على الغدة الثديية Mammary gland لينشط نمو قناتها، كما يسبب نمو العظام في الطول وقلل مناطق الـ Epiphyseal plates، ويعمل أيضاً على الـ Hypothalamic-pituitary system لينظم إفراز هرموني LH & FSH وهرمون البرولاكتين، ويعمل أيضاً على المبتازم عموماً ليسبب ترسيب الدهن وتوزيعه، كما يؤثر على حجم الموائ خارج الخلايا (الموائ خارج خلوية)....الخ. وفي كل حالة من هذه الحالات فإن هرمون الـ Estradiol يرتبط بالمستقبل الخاص به في سيتوبلازم الخلية الذي ينقله إلى نواة الخلية حيث يقوم بتنشيط DNA الخلية وتبدأ عملية الـ Gene transcription لتخليق البروتين المطلوب.

ومثال آخر لحقيقة أن وظيفة معينة تنظم بواسطة عدة هرمونات وهو إفراز الأحماض الدهنية من الدهن المخزن في الأنسجة الدهنية Lipolysis فنجد أن عملية الـ Lipolysis هذه تنشطها عدة هرمونات في خلال دقائق معدودة وهذه الهرمونات هي Caticholamines (Epinephrine & Norepinephrine, Glucagon, Secretin, prolactin and β -lipotropin GH السابقة تنشط عملية الـ Lipolysis عن طريق Cyclic AMP كرسول ثاني ولأيضا هرمون النمو GH وهرمونات Glucocorticoids تنشط عملية الـ Lipolysis لكن بعد ساعتين من الزمن. تبدأ هرمونات أخرى في الإلراز لكي تنشط عملية الـ Lipolysis هذه الهرمونات هي Insulin, insulin-like growth factor (IGFs) & Somatomedins, Oxytocin and gastric-inhibitory polypeptide. ومثال للوظيفة المعقدة التي تنظم بواسطة عدة هرمونات مختلفة هو نمو وتطور الغدة الثديية Development of the mammary gland والتي هي تحت التأثير المباشر أو الأولى لهرمونات البرولاكتين والإستروجين والبروجسترون، كما أن هرمونات الغدة الدرقية والـ Glucocorticoids وهرمون الأستروين لهم دور الـ Permissive action لهذه الهرمونات لتؤدي وظائفها (دور الـ Permissive action معناه أنه يلزم وجود هرمون معين لكي يؤدي هرمون آخر

وظائفه البيولوجية أو بمعنى آخر أن الأثر البيولوجي للهرمون يكون ضعيف أو وجد الهرمون بفردية بينما لو وجد معه هرمون آخر يقوم بدور الـ Permissive action له فيؤدي ذلك إلى إظهار الوظائف البيولوجية للهرمون الأول بصورة كبيرة).

وتؤدي الهرمونات وظائفها في أربع مجالات فسيولوجية واسعة هي :

١- التكاثر - ٢- النمو والتطور - ٣- إستدامة البيئة الداخلية للجسم - ٤- تنظيم الطاقة المتاحة بالجسم.

١- التكاثر Reproduction : الهرمونات المفروزة من الغدد الجنسية Gonads مثل الهرمونات الذكرية Androgens والهرمونات الأنثوية (الإستروجين والبروجيستيرون) وهرمونات النقص الأمامي للغدة النخامية مثل هرمون النمو GH والبرولاكتين PRL والهرمون المحدد للتبويض LH والهرمون المنشط لنمو الحويصلات المبيضية FSH تمثل جميعها متداخلة مع بعضها لتنظيم نمو وإستدامة الأجهزة التناسلية في كلا من الذكر والأنثى وإنتاج الجاميطات والمبايض الجنسي لكلا من الذكر والأنثى وللشكل المظهري لكلا من الذكر والأنثى والمحافظة على النوع من خلال عملية إنتاج الحيوانات المنوية Spermatogenesis وعملية إنتاج البويضات Oogenesis والحمل والولادة والرضاعة.

وهناك كثير من الأمثلة لهذه الوظائف المتداخلة أمثلا هرمون الإستروجين يسبب Hypertrophy and hyperplasia للطبقتين العضلية Muscular والإندوثيلية Endothelium لجدار الرحم. ويتحكم في إفراز هرمون الإستروجين من المبيض هرمونات الـ Gonadotropins (FSH & LH) المفروزة من النقص الأمامي للغدة النخامية.

وهرمون التستسترون المفروز من الخصية في الذكر يتحكم في إفراز هرمون LH المفروز من النقص الأمامي للنخامية وهرمون التستسترون هذا ينشط الغدد المساعدة مثل البروستاتا والـ Seminal vesicles. وكلا من الإستروجين في الإناث والتستسترون في الذكور يلعبان دوراً هاماً في إظهار صفات الجنس الذكرية والأنثوية في الذكور والإناث عند البلوغ الجنسي. فهرمون التستسترون يسبب نمو الخصيتين وكيس الصفن والتضيق كما ينشط نمو العضلات. أما هرمون الإستروجين في الأنثى فينشط نمو وتطور الـ Femal external genitalia كما يسبب إعادة توزيع الدهن في مناطق معينة في جسم الأنثى فهو يسبب زيادة ترسيب الدهن في الأزرع والفخذين والمؤخرة (أي هو يسبب الخطوط الكونتورية المميزة للأنثى).

ويتحكم في عمليات التبويض وتكوين الحيوانات المنوية هرمونات الـ Gonadotropins (FSH & LH) المفروزة من النقص الأمامي للغدة النخامية حيث تعمل هذه الهرمونات إما مباشرة على

النقد الجنسية لتسبب نمو الحويصلات المبيضية في المبيض أو تكوين الحيوانات المنوية في الخصية، كما تصل بطريق غير مباشر عن طريق تنشيطها لإفراز هرموني الإستروجين والتستسترون في كلا من الإناث والذكور على التوالي. وأثناء الحمل عديد من الهرمونات المفردة من المشيمة Placenta ومنها الإستروجين والبروجسترون ولاكتوجين المشيمة Placental lactogen والبـ Chorionic gonadotropin) وعديد من الهرمونات الأخرى تعمل مع بعضها للمحافظة على إستدامة الحمل في مراحلها المتطورة المختلفة. وبعد الولادة تعمل مجموعة أخرى من الهرمونات لتتبعه وتسبب إستدامة تركيب ووظيفة الثدي أثناء الرضاعة.

٢- النمو والتطور **Growth and Development** : هناك عديد من الهرمونات التي تلعب دوراً إما مباشرة أو عن طريق ما هو معروف بدور البـ Permissive action لهرمونات أخرى في عملية النمو للجسم صموماً ولمو الأنسجة المختلفة كل نسيج على حدى. وفي جميع الحالات فالنمو الموضوعى لأي جزء من الجسم يكون نتيجة لأثر الهرمون أي أنه في بعض الحالات يكون إنتاج العوامل المنشطة للنمو نتيجة عن أثر الهرمون، وفي بعض الحالات الأخرى يكون إنتاج العوامل المنشطة للنمو لا تعتمد على الهرمون، لكن عامل النمو Growth factor هذا يعمل متداخلاً مع الهرمون لتنشيط أو تثبيط النمو. والهرمونات الكلاسيكية التي تدخل في عملية النمو هي : هرمون النمو GH، وهرمونات الغدة الدرقية وهرمون الأنسولين وهرمونات Glucocorticoids والأندروجينات والإستروجينات. وبالرغم من أن التأثير المنشط لهرمون النمو GH على نمو الجسم بصفة عامة يتوسطه مجموعة من الليبتيدات والتي تعرف في مجموعها بإسم عامل النمو المشابه للإنسولين أو عوامل النمو المشابه لهرمون الإنسولين Insulin-like growth factors فغير واضح حتى الآن هل هذه العوامل تتوسط أثر الإستروجينات والأندروجينات على للنمو من عدمه. ومثال للهرمون الذى يعمل على تنشيط النمو بوجه عام كما أنه يقوم بدور البـ Permissive action مع هرمونات أخرى لتنشيط النمو هو هرمون الثيروكسين Thyroxine. ففي غياب هرمون الثيروكسين لا يستطيع هرمون النمو تنشيط نمو الهيكل العظمى، وتبدو هذه الظاهرة بوضوح أن لها علاقة بقابلية الأنسجة للإستجابة للبـ IGF(s).

وفي الجهاز العصبى المركزى CNS يقوم هرمون الثيروكسين بدور أولى في تنشيط نمو وتميز خلايا الجهاز العصبى المركزى. ويعض من آثار هرمون الثيروكسين على المخ يتوسطها إنتاج عامل متخصص لنمو الأنسجة Tissue specific growth factor وعامل نمو الأعصاب Nerve growth factor (NGF). وقد أثبت التجارب أن تخليق بعض من عوامل النمو الببتيدية Peptide

growth factors يكون نتيجة لتعلل هرموني لمثلا هرمون GH يسبب تخليق IGF(s) وهرمون
النوروكسين يسبب تخليق NGF والأندروجينات تسبب تخليق الـ Epidermal growth factors
(EGF). ولم يعرف حتى الآن هل عوامل النمو الببتيدية الأخرى Other peptide growth factors
مثل الـ Fibroblast growth factor (FGF) والـ Platelet-derived growth factor (PDGF)
تخلق عن طريق تنظيم هرموني أم لا.

٣- إستدامة البيئة الداخلية في الجسم Maintenance of Internal Environment :

إستدامة البيئة الداخلية في الجسم تحتوي في داخلها على التحكم في حجم السوائل خارج الخلية،
وضغط الدم، ومحتوي سوائل الجسم من الإليكتروليات Electrolyte ، وتنظيم مستوى أيونات
الكالسيوم والفوسفات في الأنسجة وبلازما الدم، وإستدامة المخزون من الدهون في الجسم، وإستدامة
العظام والمضلات.

وعديد من الهرمونات تشترك في تنظيم هذه العمليات ومثالا لذلك هرمون ADH المخلق في
الهيپوثالامث والمفرز من الفص الخلفي للدماغية يعمل على الكلية ليسبب إعادة إمتصاص الماء.
وهرمون الألدوسترون Aldosterone المفرز من قشرة الغدة الجاركلوية Adrenal cortex ينشط
إمتصاص الصوديوم وإخراج البوتاسيوم عن طريق الكلية. وإذا فكلا الهرمونين يعملان على تنظيم
ضغط الدم وحجم السوائل خارج خلوية ومكونات الإليكتروليات في سوائل الجسم. كما يقوم هرمون
الغدة جارات الدرقية Parathyroid hormone (PTH) بالتحكم في تنظيم أيونات الكالسيوم
والفوسفات. فهرمون PTH يسبب زيادة تركيز أيون الكالسيوم في سيرم الدم غالبا عن طريق صله
على نقل الكالسيوم Calcium transport في العظام والكلية، وأيضا عن طريق تحسينه لإمتصاص
الكالسيوم عن طريق الأمعاء والذي ينشطه فيتامين د_٣ (D₃) وإسمه 1,25 dihydroxyvitamin D_٣
كما يعمل PTH أيضا على الكلية لتنشيط إخراج الفوسفات كما أن وظائف العظام والمضلات والنسيج
الدهني تنظم بواسطة هرمونات PTH والإستروجينات والأندروجينات وهرمون النمو (العظام)
والهرمونات المفرزة من نخاع الغدة الجاركلوية (Catecholamines) وهرمون الإتنولين وهرمون
الجلوكاجون وهرمونات Glucocorticoids (للمضلات والنسيج الدهني). وهرمون الغدة جارات
الدرقية PTH والإستروجينات والأندروجينات وهرمون النمو (للعظام) والهرمونات المفرزة من نخاع
الأدرينال Catecholamine (E & NE) وهرمون الأسولين وهرمون الجلوكاجون وهرمونات الـ
Glucocorticoids (للمضلات والنسيج الدهني).

٤ - تنظيم الطاقة الخلوية للإستفادة Regulation of Energy Availability : لكي يعيش

الكائن الحي يجب أن يكون قادر على تحويل الكالورى Calories الموجودة فى الغذاء إلى طاقة وتخزين جزء منها ليستخدمها فيما بعد ويمكنه أيضا تحويل المغزون منها إلى طاقة عند الإحتياج إليها. هذه الوظائف، كإنها تنظم عن طريق عدة هرمونات أهمها : هرمونات الإسترواين وللجولوكاجون حيث يلعبان دور رئيسيا، وعلى وجه العموم فإنتاج الطاقة عن طريق التمثيل الغذائى يؤثر عليه الهرمونات وتثبيط الهرمونات هذا يرجع إلى تأثيرها على المملوئ الحويوية داخل الخلية ولتأثيرها منها التكل عبر جدار الخلية والحركة وإفراز للمنتجات الإفرازية، وكل هذا بالطبع إحتاج إلى طاقة. ومثالا ذلك فهرمونات الدرقية تسبب تنشيط تخليق إنزيمات جدار الخلية وهى K^{+} , Na^{+} -Cell membrane enzyme ATPase والتي تسبب زيادة معدلات إستهلاك الأكسجين Oxygen consumption ومثال آخر للهرمون الذى يؤثر على الـ Energy metabolism عن طريق تنشيطه لحركة الخلية هو هرمون الإسترواين، والذى يؤثر بدرجة كبيرة على تنشيط حركة الـ Cilia فى الخلايا الطلائية المبطنة لقناة المبيض وبالتالي يسمح بنقل البويضة والحيوان المنوى لمكان الإخصاب.

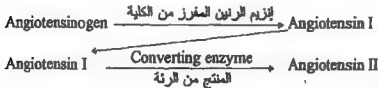
تخليق وإفراز الهرمونات Synthesis and Release of Hormones : للهرمونات

البروتيينية واللبتيديه يتم تخليقها فى الشبكة الإندوبلازمية الغشنة Rough endoplasmic reticulum ومثل كل البروتينات فتتبع الأحماض الأمينية المكونة للهرمون يتم تحديده عن طريق Messenger RNAs والذى يتم تخليقه فى النواه وهو الصورة المقابلة للنيوكلوتيدات الموجودة على الجين. وتتابع الأحماض الأمينية التى يتم تخليقها على الـ Ribosomal RNAs غالبا ما تكون أكبر فى عددها من الهرمون الأصلى وإذا لمهى تسمى Precursor وهذا الهرمون Hormone precursor إما أن يكون Prohormone أو Preprohormone وللجزء من تتابع الأحماض الأمينية للزائد عن الأحماض الأمينية المكونة للهرمون فى الـ Prohormone يسمى Leader or Signal peptide والـ Preprohormones تتحرى أيضا على Signal peptides بالإضافة إلى إحتوائها على Cleavage sites وهذه تتفاعل مع الإنزيمات لتنتج Bioactive peptides مختلفة. وفى بعض الحالات نجد أن الـ Preprohormones تتحرى على تتابعات ببتيديه ليس لها وظائف بيولوجية وهذه التتابعات تسمى Cryptic peptides.

والـ Leader فى كلا من الـ Prohormone & Preprohormone له Hydrophobic nature وهذه تسمح للبروتين المخالق حديثا بالمرور عبر جدار الشبكة الإندوبلازمية لكي ينتقل إلى جهاز جولجى. ويزال هذا الـ Leader من الهرمون بعد تخليق السلسلة الببتيديه وبمجرد وصول

الهرمون لجهاز جولي يعمل الهرمون بالإثبيات المحلل البروتين Proteolytic enzymes والتي تحول الـ Prohormone إلى واحد أو أكثر من جزيئات الهرمون. وأيا كانت الحالة فالهرمون غالبا ما يخزن في حبيبات Granules وهذه تلتحم مع جدار الخلية أثناء عملية الإفراز وهذا الإلتحام يسمح لهذه الحبيبات لتفريغ محتوياتها من الهرمون إلى المسافات البينية بين الخلايا (السوائل خارج خلوية) والتي بها نهايات لشعيرات الدموية. وهذه العملية تعتبر إحدى طرق الإنتشار Diffusion وتسمى Exocytosis وتتضمن هذه العملية إشتراك الـ Microtubules وتحركه الكالسيوم عبر جدار الخلية. وأثناء عملية الإفراز ليس فقط الهرمون هو الذي يفرز ولكن كلا من Cleavage enzyme والبيبيدات الخاصة بالـ Prohormone تخرج جميعها من الـ Granule ومثل الهرمونات الببتيدية فالأمينات Amines تغلف أيضا بالـ Granules وتفرز بنفس طريقة الـ Exocytosis.

وبالنسبة لتخليق الهرمونات الأمينية والهرمونات الإسترويدية فهي تسلك في تخليقها سلوكا مختلفا عن الهرمونات البروتينية. فالمادة التي تخلق منها الهرمونات الأمينية (الحمض الأميني تيروزين Tyrosine) تدخل كلية إلى داخل الخلية، أما المادة التي سوف يخلق منها الهرمونات الإسترويدية (وهي الكولسترول) فهي تدخل جزئيا داخل الخلية ثم يحدث لها عدة تحولات عن طريق تفاعلات إنزيمية ينتج عنها عدد من المركبات الوسيطة، وقد يكون ناتج هذه التفاعلات هرمونات أيضا. وعلى عكس الهرمونات الببتيدية والبروتينية فالهرمونات الإسترويدية تعبر جدار الخلية مباشرة بعد تخليقها وبالتالي فهي لا تحتاج أن تغلف بالـ Granules كما أنها لا تحتاج لعملية الـ Exocytosis لإفرازها. وعلى الرغم من مناقشتنا لعمليات تخليق الهرمونات في مكائلا (في الغدد المفرزة لها) إلا أن بعض الهرمونات تتكون في الدورة الدموية أو تتحول من مركب غير نشط إلى مركب نشط أو تتحول إلى مركب أكثر نشاطا في الدورة الدموية عن طريق فعل إنزيمى ومن الأمثلة على ذلك فالـ Angiotensin II يتكون في الدورة الدموية عن طريق فعل إنزيم الرنين المنتج من الكلية كما هو موضح :



والأندروجين الضعيف (Androstenedione) المفرز من قشرة الغدة الجاركلوية يمكن أن يتحول إلى Estrogen & estrone في النسيج الدهنى. وأيضا التستسترون Testosterone يتحول إلى

مركب أكثر تشامداً وهو الـ Dihydrotestosterone فى الأستجة السهدف للأندروجينات مثل البروستاتا.

وبالرغم من أن الهرمونات البروتينية والأمينات والهرمونات الإسترويدية تختلف عن بعضها فى نظام تخافىها إلا أنها كلها تشترك مع بعضها فى خاصية وهى تخير مستواها فى بلازما الدم باستمرار. ي هرمون يتغير مستواه فى بلازما الدم باستمرار ولا يظل مستواه ثابتاً وتسمى هذه الظاهرة بالـ Episodic nature of a hormone secretion.

نظم الإفراز الهرموني Patterns of Hormone Secretion : تركيز الهرمونات فى الدورة الدموية غالباً ما ينظم عن طريق التنظيم (التقليم) الرجعي السالب أو الموجب Negative or positive feedback mechanisms والذي يسمح بوجود الكمية الفسيولوجية المطلوبة من الهرمون فى الدورة الدموية لإظهار أثر معين. ومن أحد خصائص الهرمونات أنها لا تفرز بمعدلات ثابتة ولكن يتغير مستواها فى بلازما الدم بين وقت وآخر (بعضها كل دقيقة مثلاً). وكلما ارتفع مستوى الهرمون بعينه إنخفاض للـ Basal level تقريباً وبعض الهرمونات التى ينظم إفرازها التنظيم (التقليم) الرجعي السالب Negative feedback يرتفع مستواها ويصل لكساء إذا أزيل هذا الأثر للتنظيم الرجعي السالب (أي إذا أزيل أثر تثبيط إفراز الهرمون).

وهناك عدة نظم تملأيه Rhythms للإفراز الهرموني وهى :

- ١- Circoral Rhythm : وهى ارتفاع مستوى الهرمون مرة كل ساعة.
- ٢- Ultradian Rhythm : وهو ارتفاع مستوى الهرمون مرة كل أكثر من ساعة وأكسل من ٢٤ ساعة.
- ٣- Circadian Rhythm : وهو تكرار ارتفاع مستوى الهرمون مرة كل يوم.
- ٤- Diurnal Rhythm : وهو نظام إفرازي للهرمون يتكرر كل يوم ومثالاً لذلك هرمون ACTH ويلتألى مثله أيضاً هرمون الكورتيزول حيث يرتفع كل يوم بدرجة كبيرة مع بداية فترة النشاط أثناء ساعات الصباح.
- ٥- Circatrigintan Rhythm : وهو نظم يزداد فيه مستوى الهرمون فى مواسم معينة مثل هرمون الثيروكسين يزداد مستواه فى الشتاء ويقل فى الصيف كل سنة (تغير موسمي فى مستوى الهرمون) وبالرغم من أن هذه الـ Rhythms للهرمونات تكون بسبب بيئي أو هرموني إلا أن تفصيل ذلك غير معروف حتى الآن لكننا تحدثنا عنه فى موضوع الإيقاعات البيولوجية (الباب الخامس).

ميتابولزم ونقل الهرمونات Transport and Metabolism of Hormones : بعد إفراز الهرمون في الدم يمكن أن يبقى في الدورة الدموية حراً أو كان من الهرمونات الذائبة في الماء أو قد يرتبط ببروتين ناقل Carrier protein. وعصوما الهرمونات الأمينية والبروتينية والبيبتيدية تدور في الدم في صورة حرة. بينما الهرمونات الإسترويدية Steroid hormones وهرمونات الغدة الدرقية ترتبط ببروتين ناقل Transport proteins or carrier protein ويشد عن هذه القاعدة الـ Insulin-like growth factors وهي ببتيدات عديدة لكتها تدور في الدم مرتبطة ببروتين خاص Specific binding proteins وبعض بروتينات الدم مثل الألبومين Albumin and prealbumin لها القدرة على نقل مختلف الهرمونات التي لها وزن جزيئي منخفض وعلى العكس فالجوبيولينات Specific transport proteins that are globulins لها عدة مواقع ارتباط متخصصة بدرجة عالية للهرمونات التي تنقلها وهذه البروتينات تحتوي على :

1- Thyroid hormone binding globulin (TBG)

2- Testosterone binding globulin (TeBG)

3- Cortisol binding globulin (CBG)

والهرمون المرتبط Bound form يعتبر غير نشط فسيولوجيا Inactive form بينما الهرمون الحر Free form هو النشط فسيولوجيا. ولذلك كلما ازدادت نسبة الهرمون المرتبط كلما قل ظهور الآثار الفسيولوجية للهرمون. ومثالا لذلك هرمون الثيروكسين فأغلب الهرمون يدور في الدم في صورة مرتبطة ولذلك لا يظهر أثره الفسيولوجي بدرجة كبيرة بعكس الهرمونات التي تدور في صورة حرة في الدم أو التي يقل نسبة الهرمون المرتبط فيها.

وعصوما يمكن القول أن مستوى الـ Binding proteins في بلازما الدم يزداد بسرعة مع إفراز الهرمون المختص به أو الذي يرتبط بهذا الـ Specific binding protein. وبالتالي فهذا الـ Binding protein يعمل على المحافظة على إستقامة الإتران الداخلي Homeostasis للهرمون الحر في الدم. ومثالا لذلك هو زيادة تركيز الـ CBG أثناء الحمل كنتيجة لتبنيه الـ Estradiol. وبينما يزداد المستوى الكلي لهرمون الكورتيزول Cortisol كنتيجة لزيادة الـ CBG إلا أن مستوى هرمون الكورتيزول الحر المتاح للأنسجة يبقى طبيعيا. والذي يحدث أنه عند زيادة CBG يربط كمية كبيرة من هرمون الكورتيزول وبالتالي يقل المتاح للأنسجة من هرمون الكورتيزول وبالتالي تحدث زيادة مفاجئة ومؤقتة من هرمون ACTH وبثبهما زيادة مستوى هرمون الكورتيزول وبالتالي تبقى الكمية الحرة المتاحة للأنسجة من هرمون الكورتيزول في المستوى الطبيعي. وبالتالي ففي حالة الـ

Steady state في الحيوان الغير منزوع للغدد فإن أي تغير في الـ Hormone-binding proteins لا يؤثر على حالة الجسم بالنسبة للإفراز الداخلي للغدد الصماء Endocrine status والـ Metabolic clearance (MCR) لأي هرمون يعرف بالكمية المسحوبة من الهرمون من البلازما. وفي حالة الـ Steady state فإن MCR يحتوى على حجم البلازما التي يظهر فيها الهرمون في وحدة من الزمن وغالبا ما تميز بالمليتر لكل دقيقة. ولو استخدمت الهرمونات المرتبطة بنظائر مشعة وحقنت في الدم حتى ثبت مستواها ثم تولف الحقن بعد ذلك فمعدل إختفاء الهرمون المشع من البلازما يمكن تقديره وبالتالي يمكن حساب فترة نصف الحياة للهرمون ($T_{1/2}$ Plasma half-life of the hormone) والـ $T_{1/2}$ تتناسب عكسيا مع الـ MCR.

وكمية قليلة جداً من الهرمون هي التي تستخدم (تسحب من البلازما) بواسطة أنسجته الهدف أما الكميات الكبيرة من الهرمون فيتم هدمها (سحبها من البلازما) بواسطة الكبد والكلية. وعملية الهدم هذه تتم بعدة نظم إنزيمية مختلفة مثل الـ Hydrolysis, oxidation, hydroxylation, methylation, decarboxylation, sulfation and glucuronidation وعموماً كمية قليلة جداً من الهرمون حوالى ١٪ تقريبا تفرز كما هي في البول أو البراز.

وتتفاعل الهرمون مع النسيج الهدف يتجه هدم الهرمون. وفي حالة الهرمونات الببتيدية والبروتينية تتم عملية الهدم بعد ارتباط الهرمون بالمستقبل الخاص به على جدار الخلية. أما في حالة الهرمونات الإسترويدية وهرمونات الغدة الدرقية فتحدث عملية الهدم بعد ارتباط مقعد الهرمون والمستقبل Hormone-receptor complex بكميتين النواة.

كيفية التنظيم (التنظيم) للرجعي Feedback Mechanism : تنظم إفراز أغلب الهرمونات

يتم عن طريق نظم مغلقة Closed-loop systems والذي يعرف بالتنظيم للرجعي Feedback mechanism والذي يوجد منه نوعان هما :

١- التنظيم للرجعي السالب Negative feedback mechanism

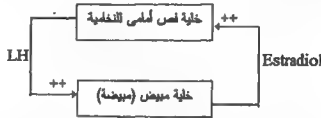
٢- التنظيم للرجعي الموجب Positive feedback mechanism

والتنظيم للرجعي السالب هو غالبا الذي ينظم إفراز معظم الغدد الصماء ويمكن شرحه ببساطة وهو أن هرمون A ينشط إفراز الهرمون B ويقوم الهرمون B بالعمل على نفس الخلايا المفرزة للهرمون A لتنظيم إفراز الهرمون A كما هو موضح بالشكل (١٥-٢).



شكل (١٥-٢) : الشكل يوضح أن الهرمون A يؤثر من خلية غدة صماء في مجرى الدم وذهب لخلية غدة صماء أخرى لينشط إفراز الهرمون B وعندما يفرز الهرمون B في مجرى الدم ذهب إلى خلية الغدة الأولى المنفردة للهرمون A لينشط إفرازها من الهرمون A.

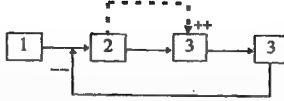
أما للتنظيم الرجعي الموجب فأوضح مثال له هو هرموني LH والإيستروجين فكلما ازداد مستوى هرمون LH كلما ازداد مستوى الإيستروجين حتى يصل تركيز الإيستروجين إلى مستوى معين عنده يسبب الإيستروجين زيادة مفاجئة في هرمون LH هذه الزيادة لازمة لإحداث التبويض وتعرف هذه الزيادة في هرمون LH بالـ Preovulatory surge of LH لأنها تحدث التبويض كما هو موضح بالشكل (١٥-٣).



شكل (١٥-٣) : الشكل يوضح أن إفراز LH من الفص الأملى للتخامية سبب تنشيط إفراز LH من الفص الأملى للتخامية. Estradiol من المبيض وهرمون LH من الفص الأملى للتخامية سبب بدوره تنشيط إفراز LH من الفص الأملى للتخامية.

وبعد هذه الزيادة المفاجئة لهرمون LH والتي تحدث التبويض يقل إفراز هرمون LH بدرجة كبيرة لأن الخلايا المفرزة لها طاقة محدودة في إفراز الهرمون Limited capacity to produce the hormone كما أنهم أيضا غالبا ما يكون لهم خاصية التنظيم الرجعي السالب لكن في هذه الحالة فقط قاموا بعمل تنظيم رجعي موجب.

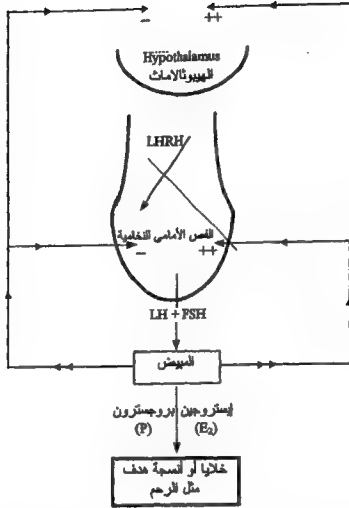
وهناك نظام آخر يتحكم في إفراز الغدد الصم أيضا يسمى : Feed-forward loops والذي يمكن أن يكون سالب أو موجب حيث يرجه والمعلومات الهرمونية ويوضحه الشكل (١٥-٤).



شكل (١٠٥-٤) : الشكل يوضح أن Feed forward يسبب سرعة التفاعل ما بين المنتج رقم (٢) لإنتاج المنتج رقم (٣) حيث يسبب الأخير (٢) إنتاج المنتج رقم (٤) ثم يقوم المنتج رقم (٤) بدوره بتنظيم إنتاج المنتج رقم (٢).

وأحسن مثال للـ Feed forward loop هو إفراز هرمون الإنسولين (يفرز من خلايا بيتا β -cells من جزر لانجرهانز في البنكرياس) والذي يفرز كاستجابة لزيادة تركيز الجلوكوز في البلازما. وبناءً على زيادة إفراز الإنسولين كاستجابة لزيادة سكر الدم (جلوكوز الدم) يعمل الإنسولين على الكبد ليزيد قدرته على أخذ الجلوكوز وتحويله إلى جليكوجين وعندما ينقص (ينخفض) مستوى سكر الدم إلى الـ Basal level ينقص مستوى الإنسولين وبالتالي يقل الـ Glucose uptake.

والأنظمة التي تنظم إفراز الهرمون كثيرة أبسطها هو التنظيم (التقليم) الرجعي السالب المفرد. وهناك نظام أكثر تعقيداً وهو أن هرمون معين ينشط إفراز هرمون آخر والهرمون الأخير ينشط إفراز هرمون آخر حيث يقوم الهرمونان الأخيران بالعمل على الهرمون الأول أو الثاني لتنظيم إفرازهم ومثالاً لذلك هو العلاقة بين الهيبوثالامات والنفس الأمامي للنخامية والمبيض. فتقوم الهيبوثالامات بإفراز LHRH وهو العامل المنبه لإفراز هرمونات الـ Gonadotropins فيفصل LHRH إلى النفس الأمامي للنخامية ويسبب زيادة إفراز الـ Gonadotropins وهي هرموني LH & FSH حيث تصل هذه الهرمونات إلى المبيض فتسبب زيادة إفرازه لهرموني الإستروجين والبروجسترون وهذان الهرمونان الأخيران يذهب جزء منهم إلى الأنسجة الهدف ليعمل عليها والجزء الآخر يذهب إما إلى النفس الأمامي ليسبب نقص إفراز LH & FSH أو يذهب إلى الهيبوثالامات ليسبب نقص إفراز LHRH. مع ملاحظة أننا ذكرنا من قبل أن هرمون Estradiol (E_2) يعمل أيضاً على الزيادة المفاجئة لهرمون LH قبل التبرؤص ويوضح ذلك شكل (١٠٥-٥).



شكل (١٥-٥) : الشكل يوضح أن LHRH يفرز من الهيپوثالامات لتنشيط إفراز كلا من LH & FSH وللذان يمتلن إلى المبيض حيث يسببوا تنشيط إفراز كلا من Estradiol (E₂) و Progesterone (P) حيث يذهب جزء منهم إلى الأنسجة الهدف ليصل عليها ويعود الجزء الآخر إما إلى الهيپوثالامات ليلبط إفراز LHRH أو إلى الغدة الأمامية ليلبط إفراز كلا من LH & FSH . أو كما ذكرنا من قبل يعود E₂ ليسبب الزيادة المفرطة في إفراز LH والتي تحدث للتبويض.

أنواع الرسائل الكيميائية المنظمة Types of regulatory chemical messengers

١- الهرمون Hormone : هو مادة كيميائية عضوية تفرز بواسطة خلايا الغدد الصماء الحية أو تلتج من خلايا حية موجودة في الغدد الصماء وتحمل بواسطة الدورة الدموية إلى مكان آخر في الجسم

هو تسريح أو عضو هدف Target tissue or organ حيث يحدث تفاعل معين في هذا العضو أو الترسيع الهدف. هذا التعريف في الحقيقة يطابق معظم الهرمونات الكلاسيكية المفرزة من الغدد الصماء. أما الآن فقد وضع أن بعض الهرمونات مثل الهرمونات المفرزة من البتكرياس يمكنها أن تعمل على خلايا مجاورة للخلايا المفرزة لها لتؤدي وظيفة معينة وتسمى هذه العملية الوظيفية بالـ Paracrine function، كما يمكن أن يقوم الهرمون بتعديل النشاط الإفراسي للخلايا التي أفرزته (أي يعمل ذاتيا على نفس الخلايا التي أفرزته) وتسمى هذه العملية الوظيفية بالـ Autocrine function. وبالتالي يتضح أن هناك هرمونات تعمل في مواقع إفرازها Locally ولا تنتقل عن طريق مجرى الدم لمواقع أخرى من الجسم حيث تؤدي وظيفتها بطبيعتها الهرمونية عن طريق ارتباطها بالمستقبلات المتخصصة لها.

٢- Neurohormones : وهذه عبارة عن مواد كيميائية عضوية منظمة لا تفرز من خلايا الغدد الصماء ولكنها تفرز من خلايا عصبية حدث لها تحورات سيتولوجية (تحورات خلوية) بحيث أصبحت لها المقدرة على الإفراز وتسمى هذه الخلايا العصبية التي تقوم بإفراز الـ Neurohormones بالـ Neurosecretory cells (NSC) وهذه تعمل عادة كحلقة اتصال بين الجهاز العصبي المركزي Central Nervous System وجهاز الغدد الصماء Endocrine System وهذه الـ Neurohormones لها خصائص الهرمونات حيث تصل إلى المكان الذي تؤثر فيه (غالبا ما يكون الغدد الصماء) عن طريق الدم وليس عن طريق الألياف العصبية ومن أمثلة الـ Neurohormones كل إفرازات الـ Hypothalamus (كل الـ Releasing factors & Inhibiting factors) التي تذهب من الـ Hypothalamus إلى النصف الأمامي للغدة النخامية وأيضا هرموني النصف الخلفي للغدة النخامية المفرزين من الـ Hypothalamus (Oxytocin and Vasopressin) وكذلك الـ Epinephrine & Norepinephrine المفرزين من نخاع الغدة الجار كلوية.

٣- Neurotransmitters or Neurohumors : وهي أيضا منظمات مهمة في جهاز التحكم بالجسم وهي تفرز من خلايا عصبية ليس لها صفات الـ NSC وتفرز كنتيجة لتنبية يحمل على طول الخلايا العصبية في صورة Action Potential وتختلف الـ Neurohumors عن الهرمونات في أنها لا تنتقل بواسطة الجهاز الدوري بل تفرز وتقوم بوظيفتها في نهايات الألياف العصبية حيث يحدث لها تدمير سريع Inactivation ولذا فإن بعض العلماء يسمونها Local Hormones أي أنها تقوم بإداء وظيفتها في مكان إفرازها ومن أمثلتها Acetylcholine &

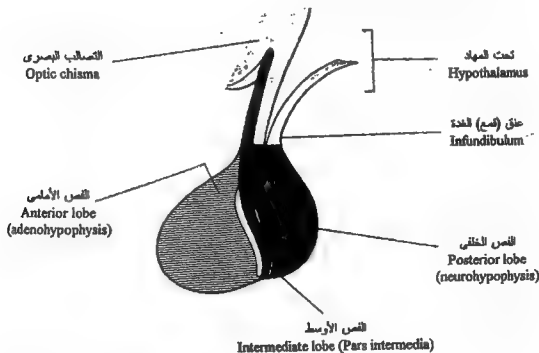
Dopamine & Serotonin و Norepinephrine المفرز من الألياف العصبية السمائية Sympathetic nerves أما Norepinephrine المفرز من نخاع الغدة الجار كلوية Adrenal medulla فيعتبر Neurohormone وليس Neurohumor حيث يفرز من خلايا عصبية لها صفات الـ NSC ويحمل بواسطة الدم.

٤ - **الفرمونات Pheromones** : وهذه مجموعة من المنظمات تؤدي تفاعلاتها التنظيمية على مستويات بسيطة مختلفة. وأثر هذه المواد الكيميائية المنظمة يحدث نتيجة لإنتقال جزيئاتها في الهواء وغالباً ما تصل إلى مستقبلات خاصة في أعضاء الشم في الحيوان. وللتجاذب الذي يحدث بين الذكر والأنثى في بعض الحشرات أثناء موسم التكاثر يعتبر مثالا للعلل التنظيمية لهذه الفرومونات ونفس هذا الأثر تم التعرف عليه في الثدييات ومثال لذلك دورة الشبق في الفئران التجارب يمكن أن تغيب أو تختل (تكون غير منتظمة للمواعيد) في حالة غياب رائحة الفرومون الخاصة بالذكر فعند وضع الفئران الإناث في أقفاص بعيدا عن الذكور تختل دورة الشبق كما تطول فترة خمود أو سكون المبيض وتسمى هذه الظاهرة Lee-boot effect (أي ظاهرة عدم الإنبعاث بفوائد الرياح) وهذه الظاهرة يمكن أن تمكس أو تزول (ظاهرة Whitten effect) بوضع الفئران للذكور في أقفاص قريبة من الإناث. وتؤثر الفرومونات على الحمل في الفئران وتسمى هذه الظاهرة Bruce effect ففي حالة تعرض الفئران حديثة التلقيح للفرومونات نكور من سلالة مختلفة ايتوقفن أو لا يحدث الحمل .

٥ - **الباراهرمون Parahormones** : وهي ليست هرمونات وهي عبارة عن رسائل كيميائية تتوالد في الدم ولها وظائف تنظيمية وتنتج من أنواع مختلفة من الخلايا ولها آثار عامة مختلفة أكثر منها خاصة أو متخصصة. ومثالا لذلك الـ Histamine and Angiotensin لهما آثار واسعة على انقباض العضلات للقاعة على مدار الجسم كله - وأيضا فهي أكسيد الكربون الناتج كمخلف وسط عمليات التمثيل الغذائي يؤثر على مركز التنفس في الـ Medulla والذي يعتبر أهم عمليات Homeostatic control system والمماثلة للأنظمة الخاصة بتنظيم الجلوكوز وحجم وضغط الدم.

الغدة النخامية Pituitary Gland : الغدة النخامية في الإنسان تتكون من فصين هما الفص الأمامي Anterior pituitary والفص الخلفي Posterior pituitary. أما في الحيوانات الثديية فهي تتكون من ثلاث فصوص وهي أمامي وخلفي وأوسط Intermedia (شكل ١٥-٦) وتتصل النخامية بلسان المخ بطنق Pituitary stalk وتقع في منخفض في قاعدة الجمجمة يسمى السرج العرقي

Turkish saddle أو **Sella turcica**. وفي المعنى كان يعتقد أن الغدة النخامية هي الغدة الرئيسية الموجهة لكل الغدد في الجسم **Master gland** لكن بعد معرفة أن منطقة تحت المهاد **Hypothalamus** بالمخ هي المنظمة والمتحكم عن طريق إفرازاتها من الهرمونات في كل إفرازات النخامية. لذا قد يلبي هذا الاعتقاد. والهرمونات التي يفرزها القوس الأمامي والخلفي والأوسط للنخامية وتركيبها الكيميائي ووظيفتها الرئيسية مدونة بجدول (١٥-١). وبالنسبة للهرمونات المفردة من القوس الأمامي للنخامية فتم تنظيم إفرازها بواسطة الهيبوثالامات وهي تقع أعلا الغدة النخامية مباشرة وهي كما نذكرنا من قبل حلقة الوصل بين الجهاز العصبي وجهاز الغدد الصماء. وخلايا الهيبوثالامات **Hypothalamus** عبارة عن خلايا عصبية حدث بها تحورات سيتولوجية بحيث أصبحت لها المقدرة على الإفراز لذا فهي تسمى خلايا عصبية مفرزة **Neurosecretory cells (NSC)**. وهي بالتالي تخلق وتفرز هرمونات وهذه الهرمونات تنظم تخليق وإفراز القوس الأمامي للغدة النخامية. والبعض الآخر يُنظم إفراز هرمونات النخامية. وهرمونات الهيبوثالامات المنشطة لإفرازات القوس الأمامي للنخامية تسمى الهرمونات المحررة **Releasing hormones** أما هرمونات الهيبوثالامات المثبطة للقوس الأمامي فتسمى **Inhibiting hormones**.



شكل (١٥-٦) : شكل يوضح التركيب التشريحي للغدة النخامية حيث تتكون من قوس أمامي وقوس أوسط وقوس خلفي كما يوضح اتصالها بمنطقة تحت المهاد. (منقول عن مرجع رقم ٢١ بقائمة المراجع).

ويجدر الإشارة هنا أن بعض العلماء يسميها عوامل محررة **Releasing factors** والتمسية هنا صحيحة أيضا لأنها عوامل منشطة أو مثبطة. وهذه الهرمونات (أو العوامل) تفرز من الخلايا العصبية المتحررة في الهيبوثالامس وتنقل في محاور هذه الخلايا التي تنتهي في الجزء السفلي من الهيبوثالامس والذي يطلو الغدة النخامية مباشرة وتخزن هذه الهرمونات في نهايات هذه المحاور العصبية ثم عند إفرازها تنتقل إلى الشعيرات الدموية القريبة حيث تصب هذه الشعيرات الدموية في سلسلة من الأوردة تسمى الأوعية البابية **Portal vessels** والتي توجد في عنق الغدة النخامية. ثم تصب هذه الأوردة في شبكة شعيرات دموية في النخامية الأمامية ولذلك فالهرمونات المحررة أو المثبطة تنتقل مباشرة لخلاياها الهدف. ولترتيب السابق للأوعية الدموية والذي فيه تصب شبكة الشعيرات الدموية في أوردة ثم تصب هذه الأوردة بالتالي في شبكة أخرى من الشعيرات الدموية يطلق عليه الجهاز البابي **Portal System**.

الهرمونات المفرزة من الفص الأمامي للغدة النخامية : ١- هرمون النمو
Growth Hormone (GH) : يطلق عليه أيضا هرمون منبه نمو الخلايا الجسمية
Somatotrophic Hormone (STH) حيث يقوم بتنشيط نمو خلايا الجسم مسببا تضخمها
Hypertrophy وزيادة عددها **Hyperplasia** كنتيجة لإقسامها.

وهرمون النمو هرمون بروتيني يفرز من الفص الأمامي للنخامية ويقوم هذا الهرمون بتنشيط نمو خلايا العضلات عن طريق تنشيط أخذ الأحماض الأمينية وتخليق البروتين وأهم الوظائف البيولوجية لهذا الهرمون هو تنشيط النمو بوجه عام في الجسم، لكن الأعضاء الهدف الرئيسية لهذا الهرمون هي العظام والعضلات. وهرمون النمو ليس الهرمون الوحيد المنشط للنمو، لكن هناك هرمونات أخرى تعمل على تنشيط النمو مثل الهرمون الذكري **Testosterone** وهو هرمون إسترويدي يفرز من الخصية وقشرة الغدة الجاركلوية ولذلك فنحن نلاحظ زيادة حجم وطول الذكور عن الإناث وهرمون النمو يفرز في دورة يومية **Diurnal rhythm** فيزداد إفراز الهرمون ويصل أقصاه أثناء فترات النوم العميق (الساعة ٢ صباحا تقريبا). هذا وينظم إفراز هرمون النمو هرمون محرر يفرز من الهيبوثالامس يسمى **Growth hormone-releasing hormone (GH-RH)** كما تفرز الهيبوثالامات هرمون آخر مثبط لإفراز هرمون النمو.

وهناك عدة أمراض ناتجة عن الخلل في إفراز هرمون النمو. وهذه الأمراض تتحدد تبعا لوقت حدوث هذا الخلل. وهذه الأمراض هي : ١ - **مرض التقزم (قزمية) Dwarfism** وهو ينتج عن نقص إفراز هرمون النمو أثناء فترات نمو الحيوان أو الإنسان أي قبل قتل مناطق للنمو في العظام

Epipheseal Cartilage ويمكن علاج هذه الحالة بالعقن بهرمون النمو -ب- مرض الصلابة **Giantism** ويحدث كنتيجة لزيادة إفراز هرمون النمو خلال مرحلة النمو أى قبل قفل مناطق النمو فى العظام ويتميز هذا المرض بأن أجزاء الجسم فيه تكون متضخمة -ج- مرض تضخم الأطراف **Acromegaly** وهو ينتج عن زيادة إفراز هرمون النمو بعد تمام النمو (بعد قفل مناطق النمو فى العظام) ويتميز هذا للمرض بخشونة ملامح الوجه وتضخم الأيدي والأقدام وفى هذا المرض تكون أجزاء الجسم غير متناسبة مع بعضها البعض.

٦- **هرمون البرولاكتين Prolactin** : هرمون البرولاكتين هرمون بروتينى يشبه فى تركيبه الكيموتى إلى حد كبير التركيب الكيموتالى لهرمون النمو GH، كما أنه هو وهرمون النمو يعتبران **Direct acting hormones** حيث يملان مباشرة على خلاياهم الهدف أما باقي هرمونات الفص الأمامى للغدة فهى **Trophic hormones** حيث تقوم هذه الهرمونات بتنشيط عدد آخرى فى الجسم لتخليق وإفراز وإفرازاتها.

وهرمون البرولاكتين يزدى وظائف مختلفة تبعاً لنوع الحيوان فى الطيور ينشط سلوك الهجرة **Migratory behavior** وفى الأسماك يعمل على المحافظة على الإيزان الدلقى للأصلاح **Electrolyte balance** وفى النساء ينشط تكوين اللبن بواسطة الغدد الثديية **Mammary glands** وينشط إفراز هذا الهرمون رضاعة الطفل لأنه لذلك إفراز هذا الهرمون يأتى كجزء من الإستجابة المصبية الهرمونية **Neuro endocrine reflex** حيث تتضمن هذه الإستجابة للغدد الصماء والأجهزة العصبية حيث تنشط الرضاعة ألياف عصبية حسية موجودة بالتدى حيث ينتقل هذا التنبيه المصبى إلى الهيپوثالامات لتقوم بإفراز هرمونها المحرر **Prolactin Releasing Hormone (PRH)** الذى ينتقل إلى النصف الأمامى للغدة الخغامية مسبباً زيادة إفراز الهرمون أو تقلل إفرازاتها من **Prolactin Inhibiting Hormone (PIH)** الذى يثبط إفراز الهرمون وبالتالي يزداد إفراز هرمون البرولاكتين. وهذه الإستجابة المصبية الهرمونية هى التى تحدث أيضاً عند إنتاج اللبن تجارياً (البومه) حيث يتم بعد الولادة إطعام الجول مبكراً ويستبدل أسعاب المزراع من بيع هذا اللبن حيث يقوموا بحلب هذه الأبقار يدوياً أو عن طريق الحليب الآلى، وأي طريقة من طرق الحلب سواء اليدوى أو الآلى تنشط الإتمكاس المصبى الهرمونى المسبب لزيادة إفراز هرمون البرولاكتين.

٣- **الهرمون المنبه للغدة الدرقية Thyroid Stimulating Hormone (TSH)** : هذا لهرمون هرمون بروتينى يعمل على الغدة الدرقية ليحافظ على نموها وحجمها الطبيعى كما ينشطها تخليق وإفراز هرموناتها. وينظم إفراز هذا الهرمون بواسطة **TSH-RH** المنفرز من الهيپوثالامات

حيث يزداد إفراز الأخير بواسطة البرد والضغط كما ينظم إفراز الهرمون كذلك بواسطة التنظيم (أو التغذية أو التنظيم) الرجعي الصالب لهرمونات الدرقية في الدم حيث تصل لمستقبلاتها في الهيبوثالامات وتنقل إفراز TSH-RH أو تصل للنص الأمامي للخامية لتقلل إفراز TSH. هذا ويقوم هرمون TSH بتنشيط إفراز هرموني الثيروكسين والسراي أويوثيروين Thyroxine (T_4) and Triiodothyronine (T_3) وهذه الهرمونات تنشط هدم الجلوكونز بواسطة خلايا الجسم وتزيد من معدلات إستهلاك الأوكسجين Oxygen Consumption ولذلك فهي هرمونات لإنتاج الطاقة وبالتالي فهي تسبب رفع درجة حرارة الجسم.

٥،٤ - الهرمونات المنشطة للغدة الجنسية Gonado trophic Hormones : يخلق النص الأمامي للخامية ويفرز هرمونين يتران على الغدة الجنسية في كلا من الذكر والانثى وهذان الهرمونان هما : ٤- الهرمون المنبه ل نمو الحويصلات المبيضية Follicle Stimulating Hormone (FSH) ويقوم هذا الهرمون بتنشيط عملية تكوين الحيوانات المنوية Spermatogenesis في الذكر وتنشيط عملية تكوين البويضات في الإناث Oogenesis. والهرمون الثاني هو -٥- الهرمون المحث للتبويض Luteinizing Hormone (LH) وينشط إنتاج هرمونات الغدة الجنسية، ففي الذكر يقوم LH بتنشيط إنتاج هرمون التستوسترون Testosterone من الخصية، وفي الإناث يقوم هرمون LH بتنشيط إفراز الإستروجين Estrogen والبروجسترون Progesterone من المبيض وإنتاج وإفراز هرموني LH & FSH يتحكم فيه هرمون واحد يفرز من الهيبوثالامات يسمى Gonadotropin Releasing Hormane (Gn-RH) وهو يتكون ويفرز من الهيبوثالامات.

٦- الهرمون المنشط لغدة الغدة الجاركلوية Adrenocorticotrophic Hormone (ACTH) وهو هرمون بيتيدي يفرز من النص الأمامي للغدة للخامية ويفرز أيضا بكميات ضئيلة من المخ Brain وقد وجد حديثا أنه يفرز من المبيض Ovary في الإناث لكن الدور الذي يقوم به هرمون ACTH المفرز من المبيض غير معروف حتى الآن.

وهرمون ACTH يقوم بتنشيط غدة الغدة الجاركلوية لتخليق وإفراز مجموعة من الهرمونات الإسترويدية تسمى Glucocorticoids وهي تساعد في تنظيم مستوى جلوكوز الدم بالمعاونة مع هرموني الإسمولين والجلوكاجون المفرازان من البنكرياس كما أن لها دور في مقاومة الفرد للتأثيرات المختلفة من الضغوط Stresses. وينظم إفراز ACTH من طريق هرمون يفرز من الهيبوثالامات وهو ACTH-RH أما هرمون ACTH-RH فينظم إفرازه عن طريق : ١- هرمونات

Glucocorticoids المفروزة من قشرة الغدة الجاركلوية والتي إزاداد مستواها تنبه الهيبوثالامث لتقليل إفرازها من هرمون ACTH-RH والمكس صحيح وهو ما يسمى بالتغذية الرجعية السالبة Negative Feedback. -٧- كذلك يزداد إفراز ACTH-RH بواسطة الضغوط Stresses والتي تعمل عن طريق الجهاز العصبي وتسبب زيادة إفراز ACTH-RH وبالتالي يزداد إفراز هرمون ACTH وبالتالي يزداد إفراز Glucocorticoids من قشرة الغدة الجاركلوية والذي يسبب زيادة مستوى سكر الدم وبالتالي يولر مصدر طاقة إضافية للخلايا أثناء فترة الـ Stress. -٣- عامل ثالث يؤثر على إفراز ACTH-RH وهو إختلاف الليل والنهار Light to darkness ratio فهرمون ACTH يتبع فى إفرازه دورة الليل والنهار Light-dark cycle تقوم ساعة بيولوجية Biological clock فى منطقة الباخ برصد اليوم حيث تتحكم فى إفراز ACTH-RH بحيث يصل أقصى إفراز له قبل الإستيقاظ مباشرة (فى الصباح الباكر مع بداية فترة النشاط).

هرمونات الفص الخلفى للغدة النخامية Posterior Pituitary Hormones: الفص الخلفى للغدة النخامية (ويسمى أيضاً النخامية الخلفية) هو عبارة عن غدة عصبية هرمونية Neuroendocrine gland وهو يتكون من خلايا عصبية متحورة للإفراز Neurosecretory cells (NSC) وأجسام هذه الخلايا توجد فى الهيبوثالامث بينما تمتد محاور هذه الخلايا فى الفص الخلفى حيث تخزن الهرمونات المخلفة فى أجسام هذه الخلايا العصبية فى نهايات محاورها وتبقى مخزنة حتى يتم إفرازها فى الشعيرات الدموية المحيطة وبالتالي فيمكن القول أن مكان تخليق هرمونات الفص الخلفى هو الهيبوثالامث بينما يعتبر الفص الخلفى مخزن لهذه الهرمونات. وهرمونات الفص الخلفى هى: ١- الهرمون المانع للتبول -٢- هرمون الأكسيتوسين وكلاهما يتكون من تسعة أحماض أمينية.

١- للهرمون المانع للتبول Antidiuretic Hormone (ADH) : ويطلق عليه أيضاً هرمون Vasopressin أو Arginine Vasopressin لمقدرته على زيادة ضغط الدم الشريانى. وهرمون ADH هو المنظم للإتزان المائى فى الإنسان (راجع ADH بالجهاز البولى-الباب الثانى عشر) حيث يقوم ADH بتنشيط إعادة امتصاص الماء عن طريق الأنابيب الملتوية البعيدة Distal Convoluted tubules بالكلى وبالتالي يزداد حجم الدم نتيجة عودة الماء إليه كما يسبب ADH أيضاً المحافظة على التركيز الإسموزى الطبيعى للدم.

أما تنظيم إفراز ADH فتم عن طريق خلايا عصبية مستقبلات أسموزية Osmoreceptors فى الهيبوثالامث. وهذه المستقبلات تسل على رصد تركيز المواد الذائبة فى الدم. فعند نقص الماء فى

لدم (كنتاجه للتعطيش مثلا) يزيد تركيز المواد الذائبة في الدم وبالتالي تعمل خلايا مستقبلات الأسموزية Osmoreceptors على تنشيط لخلايا المنتجة لـ ADH فيتم إفرازه. وعندما يفرز بسبب زيادة إعادة امتصاص الماء عن طريق الأنابيب الملتوية البعيدة في الكلية وبالتالي يعود الدم لحجمه الطبيعي ويعود تركيز المواد الذائبة لمستواه الطبيعي وبالتالي يقل إفراز الهرمون.

ومما هو جدير بالذكر أن هرمون ADH هو أحد العوامل المسؤولة عن استرجاع (إستعادة) المعلومة والذاكرة والتقدير السليم للأمور. ولأن هذا الهرمون يثبط إفرازه بواسطة الإيثانول Ethanol الموجود في المشروبات الكحولية لذا نجد أن شاربى الخمر ليس لهم المقدرة على إستعادة المعلومة مع عدم تقدير سليم للأمور مع نقص إعادة امتصاص الماء بواسطة الكلية، وبالتالي إخراج البول مما يؤدي أحيانا إلي الجفاف. ولذلك لابد شرب الكحوليات يصاب شارب الكحول بجفاف في الحلق وعطش شديد وإخراج كميات كبيرة من البول وتسمى هذه الحالة البول اللذي ليس له طعم Diabetes insipidus.

أما بالنسبة لمرض ADH كنظم لضغط الدم فيحدث فقط في حالة الطوارئ. ففي حالة الحوادث التي يفتد فيها المصاب كمية كبيرة من الدم تؤدي إلي نقص حجمه. ونقص حجم الدم هذا يؤدي إلي إفراز كميات كبيرة من هرمون ADH وهذه الكمية تكون كافية لإحداث إنقباض بالإوعية الدموية Vasoconstriction وبالتالي تنقبض العضلات الملساء Smooth muscles بجدر الشرايين المقطوعة وبالتالي تساعد على تقليل فقد الدم. إلي جانب ذلك تلوم عوامل التجلط بالدم بخلق جدران الأوعية المصابة.

كما يقوم ADH في حالة إصابة الشخص بزيادة بالمحافظة بقدر الإمكان على ضغط الدم لأنه لو نقص ضغط الدم يمكن أن تحدث الوفاة كنتيجة لهبوط حاد في الدورة الدموية وعدم وصول الدم إلي الأنسجة.

هرمون الأكسيتوسين Oxytocin Hormone هرمون الأكسيتوسين يخلق أيضا في الهيبوثالامات ويخزن في النخاع الخلفي للنخامية والأثر البيولوجي للهرمون على الإنثا يختلف عن الذكور. فالهرمون له Oxytocic effects على الإنثا منها ١- أن الهرمون ينشط إنقباض عضلات الرحم عند الولادة لطرد الجنين ومن هنا جاءت التسمية لكلمة Oxytocin مضاعفا منه الولادة. ويمنع هرمون البروجسترون المفروز من الجسم الأصفر أثناء فترات الحمل أثر هرمون الأكسيتوسين على عضلات الرحم. كذلك ينشط هرمون الأكسيتوسين إنقباض الخلايا العضلية للمساء المحيطة بالغدد اللبنية في الثدي وبالتالي فهو ينشط طرد اللبن Milk let-down من الغدة اللبنية.

كما أن أثر الهرمون على إنقباض عضلات الرحم قد يساعد على نقل الحيوانات الملوثة من مكان القذف إلي مكان الإخصاب في الجهاز التناسلي في الأنثى. أما بالنسبة للطيور والزرخاف فيساعد

هرمون Oxytocin وكذلك Vasotocin على وضع البيض أما بالنسبة للذكور فتدور هرمون الأكستوسمين غير واضح حتى الآن لكن يعتقد أن الهرمون يساعد على عملية التقذف للسائل المنوي أثناء عملية الجماع (التلقيح).

الغدة الدرقية The Thyroid Gland الغدة الدرقية تقع في الرقبة أسفل الجحصرة مباشرة وهي تختلف في الشكل من شخص إلى آخر فهي إما أن تكون على شكل حرف U أو على شكل حرف H وهي تقوم بإفراز هرموني الثيروكسين والثيروكسول (Thyroxine (T₄) and Triiodothyronine (T₃) وهذان الهرمونان يشتركان في إنتاج الطاقة فهما من الهرمونات المؤثرة على صليات الأيض الغذائي Metabolism ولذلك فيمكن أن يشعر شخص ما بالبرد على درجة حرارة معينة ٠ ص° مثلاً وفي وقت آخر يشعر بالدفء على نفس الدرجة والسبب في ذلك طبعاً هو مستوى هرمونات الغدة الدرقية الذي يزداد في الحالة الثانية.

كما تقوم أيضاً خلايا C وتسمى C cells بالغدة الدرقية بإفراز هرمون يسمى كالميتونين Calcitonin وهذا الهرمون يشترك مع هرمون PTH للمغز من جارات الدرقية والصورة النشطة من فيتامين د في المحافظة على الإتران الداخلي Homeostasis لأيون الكالسيوم في الدم.

والغدة الدرقية تتكون من حويصلات Follicles وجدار كل حويصلة عبارة عن طبقة من صف واحد من الخلايا الطلائية المكمية (لاحظ أن ذلك في حالة الغدة الطبيعية أما في الأحوال المرضية فيختلف شكل الخلايا). وداخل كل حويصلة توجد مادة شبه غروية تسمى Thyroglobulin وهو الصورة المخزنة لهرمونات الدرقية وهما T₃، T₄. وهرمون TSH ينشط خلايا حويصلات الغدة لصلية ابتلاع Endocytosis جزيئات الثيروجلوبيولين ثم تقوم الليسوسومات بداخل هذه الخلايا بتحلل الثيروجلوبيولين وتحرير هرمونات T₃، T₄ حيث تتركز من الجانب الآخر من الخلايا بعملية الطرد Exocytosis إلى السوائل بين الخلوية حيث تلتقطها نهايات الشعيرات الدموية لتدور في مجرى الدم.

والمواد الخام التي يخلق منها هرمونات الدرقية هي الحمض الأميني التيروسين Tyrosine واليود. والدرقية تحتاج إلى كميات كبيرة من اليود لتخليق هرموناتها ولذلك فالْيود ينتقل لخلايا الغدة رغم ارتفاع نسبته بها (عن طريق النقل النشط Active Transport) ولو كان هناك نقص لليود في الغذاء لمدة طويلة ينتج عنه تضخم للدرقية ويسمى بمرض الجويتر Goiter. وتتضخم الدرقية ليوصل حجمها إلى حجم كرة كبيرة على الرقبة. والسبب في ذلك هو أن نقص اليود يسبب نقص تخليق هرموني T₃، T₄ مما يؤدي لنقص مستواهم في الدم وبالتالي زيادة إفراز هرمون TSH الذي يسبب

زيادة إنتاج الثيروجلوبيولين بواسطة الخلايا ودفعه إلى إفراز الحويصلات (لاحظ أن الثيروجلوبيولين يحتاج فقط إلى كميات وغيره من الأحماض الأمينية وليس من اليود).

الوظائف البيولوجية لهرمون الغدة الدرقية رباعي اليود (T_4 - الثيروكسين) وهرمون الدرقي ثلاثي اليود (T_3 - الترياي يودوثيرونين) : يجب أن نعلم أولاً أن هذان الهرمونان متشابهان في التركيب الكيميائي فيما عدا احتواء T_4 على أربع ذرات يود واحتواء T_3 على ثلاث ذرات يود فقط. أما بالنسبة لوظائفها البيولوجية فهي متطابقة وذلك لأن الذي يعمل على مستوى الخلية هو هرمون T_3 فقط أما هرمون T_4 فيتحول إلى هرمون T_3 إما خارج الخلية أو داخل سيتوبلازم الخلية قبل أن يعمل على نواة الخلية (لاحظ أن T_3 يقوم بوظائفه البيولوجية عن طريق تنشيط DNA الخلايا وهو ما يسمى بعملية الـ Gene Transcription). وذلك لمعظم المراجع تتحدث عن الوظائف البيولوجية للهرمون وليس للهرمونين لأن الذي يعمل فعلاً على مستوى الخلية هرمون واحد فقط .

والهرمون يسرع من معدل هدم الجلوكوز في الميتوكوندريا في معظم خلايا الجسم - لذلك يزداد إفرازه في الجو البارد (لاحظ أن ذلك بعيداً عن التنغية للرجعية السالبة Negative Feedback) كذلك الهرمون لازم لنمو وتطور الخلايا والنمو الطبيعي للعظام والمضلات والعمليات التفاضلية الطبيعية هذا وتقص نشاط الدرقي في الأطفال يوقف النمو الجسدي ونمو المخ لذلك فهو يسبب مرض القزمية مع ضعف الذكاء أما بالنسبة للكبار فهناك حالتين ناتجتين عن الخلل في نشاط الدرقي وهما :- ١- حالة نقص نشاط الدرقي Hypothyroidism وهذه الحالة في الأشخاص البالغين أقل ضرراً وقابلة للشفاء حيث يمكن إعطاء المرضى أدوية تحتوي على هرمونات الدرقي المخلقة صناعياً. وتقص نشاط الدرقي يسبب نقص في معدل التمثيل الأساسي Basal metabolic rate ويزداد شعور الشخص بالبرد ولتعب والإرهاق معظم الوقت مع صعوبة في المجهودات الذهنية حتى البسيطة منها مع حدوث إمساك كنتيجة لبطء مرور الغذاء في القناة الهضمية. وإنخفاض معدل نبض القلب والميل إلى السمنة. ٢- حالة زيادة نشاط الدرقي Hyperthyroidism فهي عكس السابقة فيزداد فيها معدل التمثيل الغذائي مع سرعة مرور الغذاء في القناة الهضمية وبالتالي حدوث إسهال والميل للحمالة رغم كثرة تناول الغذاء ويمرّق الإنسان على درجات حرارة أقل من الدرجة الموضوعة للمرّق مع زيادة للنشاط وعدم الميل للنوم. وبعض الأشخاص تظهر عليهم حالة جوف العينين Exophthalmos حيث يمكن أن تبرز العينين بدرجة تجعل من الصعب غلق الجفون بالكامل أثناء النوم وإزدواج الصور المرئية وضعف البصر. وفي هذه الحالة يعطى المرضى يود مشع وهو يتركز في الغدة الدرقية ويدمر الخلايا الزائدة للنشاط حيث يقل إفرازها لهرمونات الدرقي، ويؤخذ على هذه الطريقة أنها قد تؤدي لمرض السرطان فيما بعد.

هرمون الكالسيتونين Calcitonin Hormone يفرز هذا الهرمون من خلايا C الموجودة بالغدة الدرقية وهو يعمل على خفض مستوى أيون الكالسيوم Ca^{++} في الدم عن طريق تنشيط ترسيب الكالسيوم في العظام حيث ينشط الخلايا البانية للعظام **Osteoblasts** ويثبط الخلايا الهادمة للعظام **Osteoclasts** كما ينشط أيضا إخراج أيون الكالسيوم وأيضا الفوسفات عن طريق الكلية. والمعروف أن إستقامة التوازن الداخلي Homeostasis لأيون الكالسيوم في الدم هام جدا لجميع العمليات الحيوية ولذلك فهو مضبوط كل دقيقة تقريبا عن طريق هرمون الكالسيتونين بالاشتراك مع هرمون الغدة جارات الدرقية PTH والصورة للنشطة للفيتامين د.

الغدة جارات الدرقية Parathyroid Glands : هذه الغدة عبارة عن أربع كتل صغيرة منفردة في الجانب الخلفي للغدة الدرقية. وهي تنتج هرمون ببتيدي يسمى هرمون الغدة جارات الدرقية **Parathyroid Hormone (PTH) or Parathormone** ويفرز هذا الهرمون بسرعة كنتيجة لنقص مستوى أيون الكالسيوم في الدم حيث ينشط الخلايا الهادمة للعظام ويسبب بذلك سحب الكالسيوم من العظام إلى الدم كما ينشط امتصاص الكالسيوم عن طريق الأمعاء كما ينشط إعادة امتصاص الكالسيوم عن طريق الكلية.

والخلل الشائع في نشاط الغدة جارات الدرقية هو زيادة نشاطها والذي يسبب سحب الكالسيوم من العظام بدرجة كبيرة مما يجعلها هشة هي والأستنان وزيادة تكوين حصوات الكلى مع إصابة المريض بالاكتهاب والإضطراب في جميع العمليات الأيضية في الجسم. وهذه الأعراض قد تظهر بعد سنتين إلى ثلاثة من بداية المرض، وتكفي في هذه الحالة إستئصال أورام الغدة جراحيا.

الإنفراز الداخلي للبنكرياس The Endocrine Pancreas : كما ذكرنا من قبل فالبنكرياس غدة خارجية الإفراز وداخلية الإفراز في نفس الوقت. وبالنسبة لوظيفة البنكرياس كغدة خارجية الإفراز **Exocrine gland** فقد تحدثنا عنها فيما سبق في باب الجهاز الهضمي، أما بالنسبة لوظيفة البنكرياس كغدة صماء (الإفراز الداخلي للبنكرياس) فهو يقوم بإفراز نوعين من الهرمونات وهما هرمون الإنسولين **Insulin** وهرمون الجلوكاجون **Glucagon**. وهرمون الإنسولين يسبب تحويل سكر الدم إلى جليكوجين مخزن في الكبد والمصنعات وعكس ذلك يقوم به هرمون الجلوكاجون.

والخلل في وظيفة البنكرياس غالبا ما يظهر أعراض مرض البول السكري **Diabetes mellitus** وأعراضه زيادة مرات التبول وعدوى في المثانة والإجهاد والضعف. وهذا المرض له عدة أسباب لكن سببه العام في العمر الصغير هو نقص إنتاج هرمون الإنسولين.

هرمون الإنسولين Insulin Hormone هرمون الإنسولين تقوم بإفرازه خلايا بيتا β -cells

الموجودة بجزر لانجرهانز Islets of Langerhans بالبنكرياس ويحتوى البنكرياس على حوالي ٢ مليون جزيرة وتتكون كل جزيرة من عدة من مئات الخلايا المتميزة إلى أربعة أنواع يهنا هنا منها نوعان فقط وهى خلايا بيتا Beta cells وخلايا ألفا (α -Cells). Alfa-cells .

وهرمون الإنسولين بروتينى يفرز بعد دقائق من ارتفاع مستوى سكر الجلوكوز فى الدم وهو يلعب دوراً رئيسياً فى عملية الإتران الداخلى Homeostasis لمستوى سكر الدم. والإنسولين يؤثر على عدد من العمليات الخلوية فى الخلايا المختلفة لكن وظائفه الرئيسية تتحدد فى -١- خلايا العضلات الهيكلية حيث يزيد الإنسولين أخذ الجلوكوز Glucose up take كما يزيد أخذ الأحماض الأمينية بواسطة خلايا العضلات الهيكلية وينشط تخليق البروتين بها وبذلك يشجع تكوين العضلات. -٢- وفى الكبد يزيد الإنسولين تكوين الجليكوجين حيث يخزنه لوقت الحاجة. -٣- وفى الخلايا الدهنية يزيد الإنسولين أخذ الجلوكوز وينشط تخليق الدهون. وخلاصة القول أن الإنسولين ينشط تخزين المواد الغذائية لإستخدامها وقت الحاجة إليها ولذلك فيعد تناول الوجبة الغذائية يكون إفراز هرمون الإنسولين هو الغالب.

هرمون الجلوكاجون Glucagon Hormone هو هرمون بيتيدي تنتجه خلايا ألفا Alfa

Cells (α -Cells) بجزر لانجرهانز بالبنكرياس. هرمون الجلوكاجون يقوم بتنشيط عملية الـ Glycogenolysis . وهى عملية تحويل الجليكوجين إلى جلوكوز. وبالتالي فهو يعمل عكس هرمون الإنسولين كما يعتبر أيضاً أحد آليات الإتران الداخلى لمستوى الجلوكوز فى الدم بين الوجبات (لاحظ أن جزئ واحد من الجلوكاجون يسبب تحرير ١٠٠ مليون جزئ من الجلوكوز). كما يقوم هرمون الجلوكاجون بتنشيط عملية أخرى تسمى عملية Gluconeogenesis فى الكبد وفيها يتم تكوين سكر من مركبات غير كربوهيدراتية وهى الأحماض الأمينية والدهون (الجليسرول).

ويتم تنظيم إفراز هرمون الجلوكاجون والأنسولين عن طريق مستوى سكر الدم فنقص مستوى سكر الدم ينشط إفراز هرمون الجلوكاجون ويثبط إفراز هرمون الإنسولين كما أن هرمون الجلوكاجون المنفرز من خلية ألفا يثبط إفراز هرمون الإنسولين من خلية بيتا المجاورة لها وهو ما يسمى بالـ Paracrine Function للهرمون. كذلك زيادة تركيز الأحماض الأمينية فى الدم تنشط إفراز هرمون الجلوكاجون.

أما زيادة سكر الدم فهى تنشط إفراز هرمون الإنسولين وتثبط إفراز هرمون الجلوكاجون وبالمثل فهرمون الإنسولين المنفرز من خلية بيتا يثبط إفراز خلايا ألفا المجاورة من هرمون الجلوكاجون.

مرض البول السكرى Diabetes Mellitus Disease : فى الأشخاص الطبيعيين حيث يكون البنكرياس سليماً تزداد عندهم مستوى جلوكوز الدم بدرجة طفيفة بعد تناول وجبة من الجلوكوز لكن تنقص المستويات فى ظرف ١,٥ ساعة إلى المستوى الطبيعي كنتيجة لإفراز هرمون الإنسولين من البنكرياس.

أما بالنسبة لمرضى البول السكرى الذين لا ينتجون كميات كافية من الإنسولين فالحالة هنا تختلف حيث ترتفع مستويات جلوكوز الدم بدرجة ملحوظة بعد تناول وجبة من الجلوكوز أو وجبة غذائية علوية كما تبقى المستويات عالية لمدة ساعات. وإذا لم يتم علاج هؤلاء المرضى بجرعات من هرمون الإنسولين تقوم الكلى بإخراج الجلوكوز الزائد للمساعدة على تخفيض مستويات جلوكوز الدم، وهذا يجعل الجسم يفقد الجلوكوز وهو عنصر غذائى هام بالإضافة إلى أن الكلى تفقد كميات كبيرة من الماء ولذلك فأعراض مرض البول السكرى هو زيادة إخراج البول والعطش المستمر مع تكرار التبول على فترات قريبة.

أنواع مرض البول السكرى : تبعاً لسبب ظهور المرض فهناك نوعان لمرض البول السكرى لكن أعراض هذان النوعان متشابهة. فالنوع الأول يظهر كنتيجة لنقص كمية الإنسولين المنتجة من البنكرياس، أما النوع الثانى فتكون فيه كمية الإنسولين المنتجة طبيعية لكن يقل عدد مستقبلات هرمون الإنسولين فى خلاياه الهدف. وغالباً ما يحدث النوع الأول **Type I Diabetes** فى الأعمار الصغيرة وفيه يقل إفراز البنكرياس من الإنسولين كنتيجة لهدم خلايا بيتا β -Cells المنتجة لهرمون الإنسولين ربما نتيجة لعدوى بالفيروسات أو خلل وسمى هذا النوع البول السكرى فى الأطفال **Juvenile Diabetes** أو البول السكرى المبكر **Early - Onset Diabetes** وفى هذا النوع يقل إفراز هرمون الإنسولين بدرجات متفاوتة فقد يقل بدرجة قليلة أو يختفى كلية. ويسبب غياب هرمون الإنسولين نقص الجلوكوز المأخوذ بواسطة الخلايا لذا تقوم الخلايا بهدم الدهون كمصدر للطاقة ويعالج هذا النوع (**Type I Diabetes**) بالحقن بهرمون الإنسولين لذلك فهو يسمى البول السكرى المتمد على الإنسولين.

Insulin-Dependent Diabetes حيث يتم حقن المرضى بالهرمون بانتظام، وضمان أن جرعات الإنسولين المنتظمة تعمل على كميات متساوية دائماً من جلوكوز الدم يجب على هؤلاء المرضى تناول وجبات خفيفة على فترات منتظمة للمحافظة على مستوى الجلوكوز ثابت فى الدم. هذا وقد قام مجموعة من العلماء بإنتاج جهاز يسمى مضخة الإنسولين **Insulin Pump** وذلك لتقليد معدل الإفراز الطبيعى للإنسولين فى الجسم، كما تجرى الآن محاولات كثيرة لفرس خلايا بيتا سليمة فى بنكرياس مريض البول السكرى.

وبالنسبة للنوع الثاني Type II Diabetes فهو يحدث غالباً مع تقدم العمر (بعد سن الأربعين) ويسمى مرض البول السكرى المتأخر الظهور **Late-onset Diabetes** وفي هذه الحالة يستمر البنكرياس طبيعي بالنسبة لإفرازه من الإنسولين لكن يقل عدد مستقبلات الإنسولين في خلايا الجسم المختلفة وأمام أعراض هذا المرض هو الزيادة في الوزن **Obesity** ويضط العلماء أشاروا إلى احتمال وجود استعداد وراثي لظهور هذا المرض ومرضى النوع الأول والثاني من السكر لهم أعراض متشابهة وهي زيادة وتكرار التبول والعطش مع شعور بالتعب والضعف وشعور بالامبالاه مع فقد الوزن وضعف الإبصار ويمكن أن تحدث عدوى بكتيرية بالتهانة كنتيجة لكثرة تكرار التبول.

وللنموذج الثاني لمرض البول السكرى **Type II Diabetes** يسمى أحياناً باسم مرض البول السكرى الغير معتمد على الإنسولين **Insulin-independent diabetes** لأنه لا يحتاج لحقن المريض بالإنسولين حيث وجود كميات كافية من الإنسولين في دم المريض لكن الخلل هنا في عدد مستقبلات الإنسولين بخلايا الجسم المختلفة لذلك يكون العلاج هنا عن طريق تناول وجبات خفيفة مع عدم تناول السكريات تماماً وإذا تم تناولها تكون في صورة نشويات معقّدة.

أما بالنسبة للمرضى بنوع **Type I Diabetes** فيحتمل تعرضهم للغيبوبة **Coma** والتي قد تحدث كنتيجة لنسيان المريض تناول الإنسولين - ففي عدم وجود الإنسولين يحدث جوع لخلايا الجسم (بالرغم من ارتفاع نسبة الجلوكوز في الدم لأن الخلايا لا تأخذ الجلوكوز حيث أن الإنسولين هو المنشط لها لأخذ الجلوكوز) وإذا بدأ الخلايا في هدم الدهون وزيادة هدم الدهون تسبب إنتاج كميات ضارة **(الكيتونات Ketons)** حيث تسبب هذه الكيتونات فقد المريض الوعي.

الغدة الجاركلوية The Adrenal Glands هي عبارة عن غدتين تقع كل غدة أعلى الكلية وتتكون كل غدة من قشرة خارجية **Cortex** وهي عبارة عن غدة صماء تقوم بإفراز هرمونات إسترويدية ولغشاء **Medulla** وهو عبارة عن خلايا عصبية متحورة للإفراز **Neurosecretory Cells (NSC)** وتقوم بإفراز هرموني الإبينفرين **(E) Epinephrine** والنورإبينفرين **Norepinephrine**.

١- قشرة الغدة الجاركلوية **Adrenal Cortex** : هي عبارة عن غدة صماء تحيط بنخاع الغدة الجاركلوية وتقوم بإفراز هرمونات بصفة أساسية (بكميات كبيرة) وهي أ- مجموعة الـ **Glucocorticoids** ومنها هرمون الكورتيزول **Cortisol** والكورتيكوستيرون **Corticosterone** وهي هرمونات مختصة بهيتمابولزم الكريوهيدرات وتحافظ على مستويات جلوكوز الدم كما أن لها دور في مقاومة القرد للضغط. ب- مجموعة **Mineralocorticoids** وهي مختصة بهيتمابولزم الماء والأملاح وتساعد على تنظيم تركيز الأيونات في الدم وفي سوائل الجسم. ج- هرمونات الجنس

الإسترويدية Sex Steroid Hormones وهى هرمونات تفرز من قشرة الغدة الجاركلوية بكميات بسيطة أو ضئيلة جداً وهى هرمونات مماثلة للهرمونات الإسترويدية المفردة من الخصية Tesis والمبيض Ovary ومن أمثلتها هرمون التستسترون Testosterone والإيستروجين Estrogen والأندروستينيون Androstenedione والديهيدروبيان دروستيرون Dehydroepiandrosterone.

والمادة الخام التى يتكون منها جميع الهرمونات الإسترويدية Steroid Hormones سواء المنتجة من قشرة الغدة الجاركلوية أو المنتجة من الغدد الجنسية هى الكوليسترول وهو مركب يتكون من ٢٧ ذرة كربون حيث يتم قطع ذرات الكربون من بعد الذرة رقم ٢١ بواسطة إنزيم Side-Chain Cleavage enzyme لينتجى مركب يسمى برجنولون Pregnenolone وتبدأ سلسلة التفاعلات الإنزيمية التى تحدث لهذا المركب يتحدد نوع الهرمون الإسترويدي المنتج. مثلاً يحدث بالضبط فى مصنع الألبان، فالمادة التى تكمل خطوط الإنتاج بالمصنع فى اللبن بينما يختلف المنتج النهائي تبعاً لاختلاف البادئ المستخدم. وبالضبط فالـ Pregnenolone يدخل عدة سلاسل من التفاعلات الإنزيمية كل سلسلة من هذه التفاعلات تؤدي إلى إنتاج هرمون إسترويدي معين.

Glucocorticoids هى مجموعة هرمونات إسترويدية أهمها هرمون الكورتيزول Cortisol وتؤثر أساساً على تمثيل الكربوهيدرات ومن هنا جاءت التسمية. وهرمون الكورتيزول يساعد الفرد على مقاومة الأنواع المختلفة من الضغوط عن طريق عمله على تنشيط عملية الـ Gluconeogenesis وهى تخليق سكر من أحماض أمينية ودهون (من مكونات غير كربوهيدراتية) وأيضاً عن طريق الدور الذى يقوم به السماح لبعض الهرمونات الأخرى لأداء وظائفها البيولوجية وهو ما يسمى بدور Permissive action، كما يعمل الكورتيزول أيضاً على تنشيط هدم البروتينات فى العضلات والنظام حيث تحرر الأحماض الأمينية التى تذهب للكبد وعن طريق عملية الـ Gluconeogenesis تتحول إلى جزيئات الجلوكوز.

والجرعات العالية Pharmacological Doses من هرمون الكورتيزول تعمل على تثبيط الإتهاب كما تعمل على تثبيط تفاعلات الحساسية Allergic reactions، كما يقوم الكورتيزول بتعطيل هجرة خلايا لدم البيضاء عبر جدر الشعيرات الدموية إلى الأنسجة المصابة، كما يقوم الكورتيزول بتدمير بعض الخلايا الليمفاوية فى مكانها فى الدم وبالتالي فهو يسبب نقص هذه الخلايا. ولذلك فيجب الاحتراز الشديد عند استخدام الكورتيزول لتثبيط الإتهابات عن طريق موازنة الفوائد والتدمير الذى يمكن أن ينتج عن ذلك فى عملية الإتزان الداخلى Homeostasis فى الجسم.

Mineralocorticoids ويمثلها هرمون الألدوسترون Aldosterone وهو كما سبق ذكره

في الباب الثاني عشر (الجهاز البولي) فهو يختص بتنظيم إيزان أسلاح المعادن (الايكتروليتات) حيث يعمل هرمون الدوسترون أساساً على الألبلب الكلوية لتنظيم تركيز أيونات الصوديوم والبوتاسيوم (راجع الباب الثاني عشر). كما ينشط هرمون الألدوستيرون إعادة إمتصاص أيونات الصوديوم في الغدد العرقية واللمفية، كما يساعد على الإحتفاظ بهاء الجسم (راجع الباب الثاني عشر).

الأمراض الناتجة عن الخلل في إفرازات قشرة الغدة الجاركلوية : للخلل في إفرازات قشرة الغدة الجاركلوية يأتي كنتيجة لخلل أو ضعف في أحد النظم الإنزيمية Enzyme Systems الداخلة في سلسلة التفاعلات اللازمة لإنتاج أى هرمون إسترويدي. وكما نعلم أن هرمون ACTH المفرز من النقص الأمامي للغدة هو المنظم لإفرازات قشرة الغدة الجاركلوية وأن هرمون الكورتيزول المفرز من هذه القشرة هو المنظم لإفراز هرمون ACTH عن طريق التغذية أو التقييم الرجعي السالب Negative Feedback Mechanism. وبالتالي فلو حدث خلل في أحد النظم الإنزيمية المؤدية لإنتاج هرمون الكورتيزول بحيث نقص مستوى الهرمون في الدم فسوف يغيب بذلك للتنظيم لرجعي السالب وبالتالي تزداد كميات ACTH المفرزة لتنشط قشرة الغدة الجاركلوية ومع غياب أحد النظم الإنزيمية المنتجة لهرمون الكورتيزول فسوف يتجه التفاعل لإنتاج هرمونات أخرى ربما تكون هرمونات الجنس الذكورية (هرمون التستسترون مثلاً) ولو كانت هذه الحالة في أنثى نجد أنه يظهر عليها صفات الجنس الذكورية الثانوية مثل ظهور شنب وتكثف العضلات وعمق الصوت مثل الذكور ويمكن علاج مثل هذه الحالة بالحقن بجرعات من الكورتيزول حتى تمنع إفراز الكميات الزائدة من هرمون ACTH. وهذا المرض Adrenogenital Syndrome يتميز بتضخم قشرة الغدة الجاركلوية وإفرازها لكمية كبيرة من الأندروجينات Androgens التي تسبب ظهور درجات متفاوتة من صفات الذكر الثانوية في الإناث مع نقص إفراز هرموني الكورتيزول والألدوستيرون.

نخاع الغدة الجاركلوية : The Adrenal Medulla : تقوم نخاع الأدرينال بتخليق وإفراز

نوعين من الهرمونات هما هرمون الأبينفرين Epinephrine (E) ويسميه البعض أيضاً هرمون الأدرينالين Adrenaline وهرمون النورإبينفرين Norepinephrine (NE) ويسميه البعض النور أدرينالين Noradrenaline وهرمون NE يفرز من أسكن متعددة بالجسم بينما لم يثبت حتى الآن إفراز هرمون E من مكان غير نخاع الغدة الجاركلوية إلا أن بعض الباحثين قد وجدوا كميات ضئيلة منه بالمخ.

وهذان الهرمونان يعملان على مساعدة الفرد على مواجهة ضغط الحياة ومقاومة جميع أنواع الضغوط مثل الفكر والقر *Fight or Flight* ولتضرب هنا مثلا : هب أن كلب غاضب تقفز ليهجم على شخص. ماذا يحدث لهذا الشخص ؟ سوف نجد أن جلده أصفر وتزداد ضربات قلبه كما يحتاج لتفريغ كمية من البول خلال ١٥ دقيقة تقريبا من هذا الهجوم والذي حدث لهذا الشخص هو زيادة إفراز هرموني α and β receptors حيث قامو بالعمل على نوعين من المستقبلات هما α and β receptors والموجودين على جدر الأوعية الدموية فقاموا بعمل إنقباض للأوعية للدموية الموصلة للأطراف (الجلد) بدلول ظهور اللون الأصفر على الوجه واليدين وهى الأماكن التى نراها فى الشخص من أطرافه لكن الحقيقة هو منع وصول الدم لكل الأطراف. وفى نفس الوقت قام α and β receptors بعمل إتساع للأوعية الدموية الموصلة لأماكن هامة فى الجسم ومطلوبه لمقاومة هذا الضغط وهى الكبد والكلى والمخ وزيادة ورود الدم للكلى سبب إحتياج هذا الشخص للتبول بعد تعرضه لهذا الضغط.

بالإضافة إلى ذلك فهرمونات α and β receptors تزيد ضربات القلب وتزيد معدل التنفس أيضا كما تعمل على رفع مستوى سكر الدم لتوفر طاقة أكبر للجسم خصوصا خلايا العضلات الهيكلية. وزيادة معدل التنفس توصل أكسجين أكثر لخلايا العضلات الهيكلية والمخ. كما أن زيادة ورود الدم للمخ تزيد النشاط الذهني *Mental alertness* حتى يتمكن الفرد من التصرف السريع لمقاومة هذا الضغط.

وبناء على ما أوصفناه سابقا من علاقات متداخلة بين الجهاز العصبى *The nervous system* وجهاز الغدد الصماء *The endocrine system* وتنظيم كلا منهما لوظائف الآخر نجد أن هناك تكامل وظيفي بين الجهازين معا ولذلك تمت تسميتهم بالـ *Neuroendocrine system* وتسمية العلم الذى يدرس للجهازين معا بعلم الـ *Neuroendocrinology*.

والتقدم فى هذا المجال أوضع أن الـ *Neuroendocrine system* لا يعمل بمفرده ولكن ينظم عمله جهاز لم يكن متوقع وهو الجهاز المناعى *The immune system*. والعلاقة بين الجهاز المناعى و *Neuroendocrine system* يمكن إيضاها فى الآتى : أن الهرمونات تؤثر على مكونات خلايا الجهاز المناعى *Immune system* والإقرازمات الناتجة من الجهاز المناعى والتى تسمى *Cytokenes* تؤثر على وظائف الـ *Neuroendocrine system*. والعجيب فى الموضوع أنه وجد أيضا أن خلايا الجهاز المناعى والمسمى بالـ *Immune reactive Cells* تفرز بعض الهرمونات مثل الهرمون المنبه لقشرة الغدة الجاركلوية (*Adrenocorticotropin (ACTH)* والـ *B-endorphin* وهذان الهرمونان لم يكن معروف عنهم حتى وقت حديث فهم يفرزوا إلا من الغدة النخامية والمخ *Brain* على التوالى.

ولأحسن مثال للإيضاح العلاقة بين الجهاز المناعي والنـ Neuroendocrine system هو النـ Immune - hypothalamic - pituitary adrenal axis فالسيتوكينات Cytokines خاصة النـ Interleukin-1 (النـ 1-Interleukin ينتج من Antigenically Challenged macrophages) يعمل على الـهيبوثالامات لينشط إفراز هرمونها المحرر CRH والتي بدورها تنبه إفراز ACTH من النـص الأمامي للغدة النخامية. هذا الهرمون يعمل على قشرة الغدة الجاركلوية لينبه تخليق وإفراز هرموناتها ومنها النـ Glucocorticoids. ثم تقوم Glucocorticoids هذه بتنشيط تكوين خلايا كريات الدم البيضاء المتعادلة Neutrophils في نخاع العظام وتقليل أو نقص تكوين خلايا كريات الدم البيضاء غير المحببة أحادية النواة Monocytes والتي لها نواة تشبه الكلية وخلايا النـ Lymphocytes والتي لها نواة مستديرة والنـ Macrophages. كما تقوم بتنشيط إنتاج النـ Cytokine والأجسام المضادة Antibodies أيضا.

كما يؤثر الجهاز المناعي أيضا على إفراز هرمونات أخرى للغدة النخامية عن طريق الـهيبوثالامات، فبالإضافة إلى الأثر المنشط لـ 1-Interleukine على إفراز CRH فالـ Cytokines وجد أنها تسبب تنشيط إفراز كلا من LH-RH & T-RH وبالتالي فقد وجد أن عدة هرمونات للنخامية والنـ Neuroendocrine peptides والتي تحتوي على Somatostatin والهرمون المنبه للغدة الدرقية (TSH) وهرمون النمو (GH) لها القدرة على التأثير على بعض وظائف الجهاز المناعي مثل تخليقه للجلوبولينات المناعية Immunoglobulin synthesis والتي ينشط تخليقها بواسطة هرمون TSH وأيضا إنتاج النـ Lymphocytes والذي يزداد بواسطة هرمون النمو GH.

والمبيض Ovary يعطى أيضا مثالا آخر للعلاقة ما بين الجهاز المناعي وجهاز الغدد الصماء. فالـ Cytokines تنظم مباشرة بعض وظائف المبيض بالضبط مثل حالة النـ Neuroendocrine system فهرمونات المبيض لها القابلية لتؤثر على الجهاز المناعي وفي هذا المضمار فالـ 1-Interleukin يثبط تميز النـ Follicular granulosa المفرزة لهرمون البروجسترون. وعلى العكس فالجرعات القليلة من هرمون البروجسترون تحسن من تعبير الجين Interleukin1-gene في النـ Macrophages.

والإيضاح أو المفهوم السابق يوضح الأهمية الكبيرة للعلاقة ما بين جهاز المناعة والنـ Neuroendocrine system. حتى يمكننا فهم الوظائف المناعية والغير عادية للغدد الصماء.

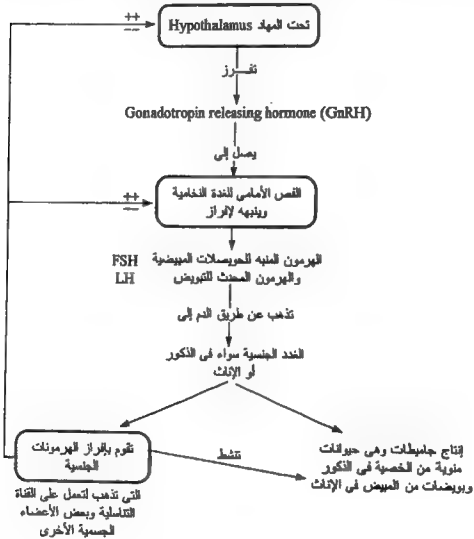
الباب السادس عشر

التناسل والأجهزة التناسلية Reproduction And The Reproductive Systems

· مقدمة **Introduction** : الجهاز التناسلي في الإنسان (أو الحيوان) وملحقاته من الغدد الجنسية Gonads يختلف عن باقي أجهزة الجسم المختلفة لعدة أسباب منها أن نزع أي غدة من الغدد الأخرى غير الغدد الجنسية ينشأ عنه أعراض خطيرة تهدد حياة الفرد ما لم يعالج الفرد بمستخلص الغدة المنزوعة. بينما نزع الغدد الجنسية قد يكون له منافع في بعض الأحيان (مثلاً لنك عمليات الخصي Castration في مزارع الأغنام والحيوانات الكبيرة)، علماً بأنه هناك بعض الآراء التي تؤكد عدم جدوى الخصي لكافة في جميع الأمور ليست هناك أضرار كبيرة أو خطره تنتج عن نزع الخصيتين من الذكور أو نزع المبيضين من الإناث، فهذه الغدد لازمة لاستدامة النوع لكنها غير لازمة لاستدامة الحياة.

وعندما نتحدث عن الجهاز التناسلي فنحن نقصد الحديث عن كلا من الجهاز التناسلي الذكري والأنثوي Male and female reproductive systems ولذلك يحسن أولاً أن نتعرف على بعض المصطلحات الخاصة بهذه الأجهزة ولول الأعضاء التناسلية هي الغدد Gonads وهي الخصيتين Testes (الخصية المفردة Testis) في الذكور، والمبيضين Ovaries (المبيض المفرد Ovary) في الإناث. وهذه الغدد الجنسية تقوم بعدة وظائف منها إنتاج الجاميطات Gametogenesis (راجع الباب السابع شكل ٧-٤٣) وهي للحيوانات المنوية في الذكور Spermatozoa (الحيوان المنوي المفرد Spermatozoan ويختصر عادة بكلمة Sperm)، والبيضات Ova (البويضة المفردة Ovum) في الإناث. كما تقوم أيضاً الغدد الجنسية بإنتاج هرمونات الجنس الإسترويدية Sex steroid hormones. والأجهزة القوية التي ينتقل بداخلها الحيوان المنوي أو البويضة والغدد الملحقة بها تسمى الأعضاء التناسلية المساعدة Accessory reproductive organs وغالباً ما يدخل المصدر (التئين في النساء) ضمن الأعضاء التناسلية المساعدة. أما صفات الجنس الثانوية Secondary sexual characteristics فتتضمن عديد من الصفات الخارجية مثل توزيع الشعر على الجسم

بالنسبة للذكور والإناث، وخطوط الجسم Body contours الناتجة من توزيع وترتيب الدهون في جسم الإناث والذكور. وهذه الصفات الجنسية الثانوية لا تتدخل بطريق مباشر في عملية التكاثر. أما بالنسبة للنشاط التناسلي فيتم تنظيمه والتحكم فيه عن طريق بعض الهرمونات التي تتركز من عدد موجودة في مواقع مختلفة من الجسم (شكل ١٦-١). وهذه اللقد تعمل مع بعضها بنظام متكامل (راجع الباب الخامس عشر). ويوضح الشكل (١٦-١) أن منطقة تحت المهاد Hypothalamus تقوم بإفراز هرمون عصبي Neurohormone يسمى GHRH (البعض يطلق عليه أيضاً GnRH) هذا



شكل (١٦-١) : الشكل يوضح النظام الذي تتحكم به الهرمونات في عملية التكاثر بوجه عام سواء في الذكور والإناث

الهرمون يصل إلى الفص الأمامى للغدة للنخامية وينبهه لإفراز نوعين من الهرمونات هما : الهرمون المنبه للحويصلات المبيضية (FSH) Follicle stimulating hormone والهرمون المحدث للتبويض (LH) Luteinizing hormone. وكلا الهرمونين يؤدي وظائف خاصة ومتعددة على كلا من الخصيتين Testes في الذكور والمبيضين Ovaries في الإناث. حيث تنشط هذه الهرمونات عملية إنتاج الحيوانات المنوية Spermatogenesis في الخصية (راجع شكل ٧-٣ الباب السابع) وإنتاج البويضات Oogenesis في المبيضين (راجع شكل ٧-٤ الباب السابع)، بالإضافة إلى تنشيطها لتخليق وإفراز هرمونات الجنس Sex hormones في كلا من الخصية والمبيض. وبالإضافة لتنشيط هرمونات الجنس لعملية تكوين الجاميطات بصفة عامة فهي أيضا تصل إلى القناة التناسلية Reproductive tract في كلا من الذكور والإناث كما تصل أيضا لبعض الأعضاء الجسمية الأخرى لتعمل عليها ومثالا لذلك فهذه الهرمونات تصل إلى الصدر في النساء (الضرع في الحيوانات الزراعية) لتنشط نمو وتطور الغدد اللبنية ولإظهار الثنثب واللبحة في الرجال... الخ.

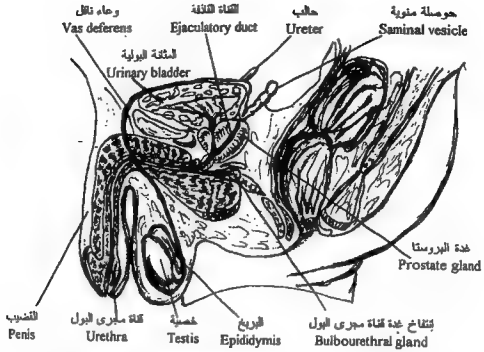
تركيب ووظائف الجهاز التناسلي الذكري :

Structure And Function Of The Male Reproductive System :

الجهاز التناسلي في الذكر يشمل الخصيتين، والنظام القوي الذي يتم فيه تخزين ونقل الحيوانات المنوية. والغدد التي تصب في هذه القنوات والقضيب. ويطلق على النظام القوي والغدد والقضيب الأعضاء التناسلية الذكرية المساعدة (شكل ١٦-٧).

وتوجد الخصيتين خارج البطن داخل كيس الصفن Scrotum. وكيس الصفن عبارة عن امتداد خارجي لجدار البطن حيث ينقسم إلى كيسين كل كيس يحتوى على خصية واحدة. وأثناء الحياة الجنينية تكون الخصيتان داخل التجويف للبطن لكن عند الشهر السابع من الحمل (العمر الجنيني) في الإنسان تخرج للخصيتان إلى كيس الصفن.

وكيس الصفن لازم وضروري لعملية تكوين الحيوانات المنوية Spermatogenesis حيث هذه العملية تحتاج غالبا إلى درجة حرارة أقل من درجة حرارة الجسم، وبالتالي فوجود الخصيتين خارج الجسم داخل كيس الصفن يسمح لهم بعملية التبريد عن طريق فقد الحرارة بواسطة التيارات الهوائية التي تمر حولهم ففي حالة ارتفاع درجة حرارة الجو يتحد كيس الصفن لزيادة مسطح التبادل الحراري وبالتالي يزيد فقد الحرارة Heat loss. وفي حالة انخفاض درجة الحرارة (التعرض للبرودة) ينكمش كيس الصفن ليقلل مسطح التبادل الحراري وبالتالي تقل معدلات فقد الحرارة. أى أن كيس الصفن يعمل كمُنظم حراري Thermoregulator لوضع الخصيتين في بيئة مكيّفة ويساعده في ذلك مرور



شكل (٢-١٦) : الشكل يوضح التركيب التشريحي للقناة التناسلية في الذكر Male reproductive tract.

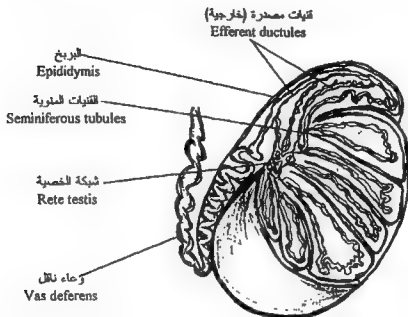
الهواء حوله Air circulation مع عملية التبادل الحرارى Heat exchange بين الشرايين والأوردة المغذية للخصية Spermatic arteries and veins.

وتتم عملية تكوين الحيوانات المنوية Spermatogenesis في الخصية في الأنبيبات المنوية الملتوية Seminiferous tubules ويربط كل أنبوبة من هذه الأنبيبات غشاء قاعدي Basment membrane وطبقة من خلايا المضلات للناعمة حتى تبقى هذه الأنبيبة فى مكانها (شكل ٢-١٦)، ويوجد داخل هذه الأنبيبات سائل يحتوى على الحيوانات المنوية. أما جدار هذه الأنبيبات فيتكون من نوعين من الخلايا هما الخلايا الجرثومية Germ cells وخلايا Sertoli cells.

أما خلايا ليدج Leydig cells ويطلق عليها أيضا الخلايا البينية Interstitial cells فهى توجد راقدة فى النسيج للضام الموجود بين الأنبيبات المنوية وتوظف هذه الخلايا فى إفراز هرمون التستسترون Testosterone.

ويوضح شكل (٢-١٦) أن الأنبيبات المنوية Seminiferous tubules الموجودة فى أماكن مختلفة من الخصية تتحد مع بعضها لتكون شبكة من الأنبيبات المتداخلة والمتصلة مع بعضها هذه

الشبكة تسمى **Rete testis** وتصب كل هذه الشبكة في الأنبوبة واحدة داخل الخصية تسمى السربخ **Epididymis** وهذه الأنبوبة تتصل وتصب في الوعاء الناقل **Vas deferens** ويرتبط الوعاء



شكل (١٦-٣) : الشكل يوضح قطاع عرضي في الخصية يتضح فيه السربخ والوعاء الناقل والأنابيب المنوية المطلوبة (المترجمة).

الناقل والأوعية الدموية والأعصاب المغذيين للخصية مكونين **Spermatic cord** الحبل المنوى والذي يمر في **Inguinal canal** في جدار البطن. وبعد مروره في البطن (شكل ١٦-٢) يمر الوعاءان الناقلان واحد من خلف كل جانب من قاعدة المثانة البولية حيث بعد مرورها هذا تصبح القنوات القاذفة **Ejaculatory ducts** ، وبعد هذا الانتقال مباشرة تظهر غدتان كبيرتان هما الحويصلتان المنويتان **Two seminal vesicles** والتتان ترقدان خلف المثانة البولية وتصبان إفرازاتهما في الوعاءان الناقلان. ثم تدخل القنوات القاذفة غدة البروستاتا **Prostate gland** حيث تلحم بقناة مجرى البول **Urethra** (لاحظ أن قناة مجرى البول آتية أيضا من إلتحامها بالمثانة البولية - راجع الباب الثاني عشر). وتمر بعد ذلك قناة مجرى البول في القضيب **Penis**.

والسائل المنوى **Semen** يشمل مكونين هما السائل المفرز من غدة البروستاتا والحويصلات المنوية وهو يشكل الجزء الأكبر والرئيسي في السائل المنوى والذي يتغير بداخله المكون الثاني وهو الحيوانات المنوية. وبالتالي فالحيوانات المنوية تمثل نسبة مئوية قليلة جداً من الحجم الكلي للسائل

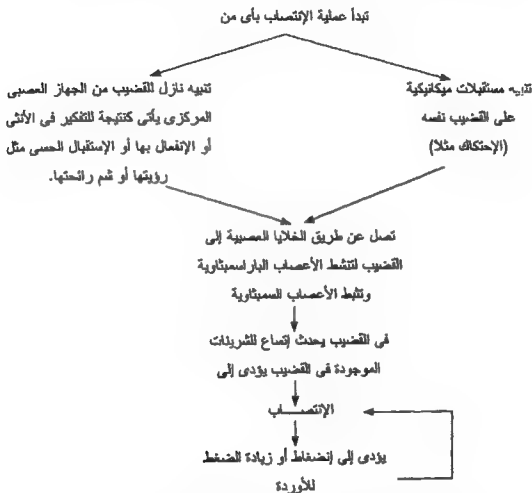
المنوى أما باقى السائل المنوى وهو الإفرازات الغدية فيحتوى على عدد كبير من المواد الكيميائية المختلفة والتي تشمل المواد الغذائية والمنظمات التي تحمى الحيوانات المنوية من إفرازات المهبل الحمضية والبروستاجلاندينات أيضاً. (ولو أن وظيفة البروستاجلاندينات فى السائل المنوى لم تتضح بعد).

ونعود مرة أخرى لجدار الأبيبات المنوية Seminiferous tubules والذي ذكرنا أنه يتكون من نموذجين من الخلايا هما الخلايا الجرثومية Germ cells والتي تسمى Spermatogonis (الخلية الواحدة تسمى Spermatogonium) وهى التي تنقسم لتعطي فى النهاية الحيوانات المنوية. والنموذج الثانى من الخلايا هو خلايا سرتولى Sertoli cells ولهذه الخلايا سبعة وظائف رئيسية على الأكل هى -١- تزود الك Blood-testis barrier بالكيمائيات -٢- تغذى الحيوان المنوى أثناء تطوره -٣- تقوم بإفراز السوائل الموجودة فى تجويف الأبيبات المنوية والتي تتضمن أيضاً البروتينات الرابطة للهرمونات الذكرية Androgen-binding proteins -٤- تستقبل للتغيرات بواسطة هرمون التستسترون وهرمون FSH لتفرز مواد تعمل على الخلايا المجاورة Paracrine agents والتي تنشط إنتاج وإنضاج الحيوانات المنوية. -٥- تقوم بإفراز هرمون الإلتهيبين Inhibin والذي يثبط إفراز FSH من النصف الأمامى للخلاية -٦- تعمل كخلايا ملتهمة للحيوانات المنوية للشدة -٧- أثناء الحياة الجنينية تقوم بإفراز عامل يسمى Müllerian inhibiting factor والذي يسبب إضمحلال النظام القنوى الأنثوى البدائى فى الجنين.

نقل الحيوانات المنوية Transport Of Spermatozoa : تنتقل الحيوانات المنوية من القنابات المنوية Seminiferous tubules خلال لشبكة المنوية بالخصية Rete testis والقنابات الخارجة إلى البربخ Epididymis ثم تدخل فى الوعاء الناقل Vas deferens حيث تخزن الحيوانات المنوية فى المنطقة المتداخلة بين الوعاء للناقل والبربخ وهذه المنطقة تعمل كمخزن للكيمات الاحتياطية من الحيوانات المنوية إلى حين قذفها أثناء حدوث الجماع الجنسى. وبالتالي فالخطوة التالية هى نقل الحيوانات المنوية من مكان تخزينها إلى خارج جسم الذكر (فى مهبل الأنثى) وهو ما يسمى بعملية القذف Ejaculation وهذه الخطوة تتطلب إلتصاف القضيب Erection of the penis ليتمكن من دخول المهبل.

إلتصاف القضيب Erection Of The Penis : عندما يتضخم القضيب ويصبح صلباً تسمى هذه الحالة بالـ Erection وتحدث هذه الحالة كظاهرة وعائية Vascular phenomenon (شكل ١٦-٤)، فعملية الإلتصاف تبدأ إما بتنبيه مستقبلات ميكانيكية Mechanoreceptors على القضيب

نفسه أو كنتيجة للتنبه نازل من المخ (الدماغ) يأتي كنتيجة للتفكير في الأثني أو الإثني بها أو رؤيتها أو شم رائحتها أو لجميع التنبهات السابقة مجتمعة. وهذه التنبهات تصل عن طريق الخلايا العصبية إلى القضيبي لتنشط الأعصاب الباراسمبثاوية وتنبط الأعصاب السمبثاوية وينتج عن ذلك إتساع



شكل (١٦-١) : الشكل يوضح المسلك الإلتصافى لمسافة الإلتصاف، وهذا المسلك يمكن أن يذهب بواسطة مستقبلات حسية ميكانيكية بالقضيبي نفسه أو عن طريق إرسال إشارات من المخ (الدماغ) ويعتبر أوكسيد النيتريت هام بالنسبة لإسراع الشريكات فى هذا المسلك الإلتصافى.

للشريكات الموجودة بالقضيبي ويعتبر أوكسيد النيتريت Nitric oxide هام بالنسبة لإسراع هذه الشريكات وبالتالي يحدث الإلتصاف والذي يؤدي بدوره إلى إنضغاط الأوعية مما يسبب زيادة هذا الإلتصاف. (لاحظ أنه عندما تنقبض هذه الشريكات الموجودة بالقضيبي تقل كمية الدم الموجودة بها ويحدث إرتخاء Flaccid للقضيبي).

اللعنة (أو المعجز الجنسي) Impotence : عدم المقدرة على تحقيق إنتصاب للقضيبي بقدر كافي من الصلابة لتحقيق عملية الجماع الجنسي مشكلة تواجه نسبة ليست قليلة من الرجال. وهذه المشكلة تعتمد بدرجة كبيرة على عمر الرجل فهي تصيب حوالي ٢٪ من الرجال عند عمر ٤٠ سنة وحوالي ٢٥٪ عند عمر ٦٥ سنة. هذا بالرغم من أن البحوث أكدت أن الهرمونات المسؤولة عن عملية الإنتصاب وخصوبة الرجل لا تتأثر بالشيوخوخة لكن تمرى عملية اللعنة Impotence هذه إلى تدهور الحالة الصحية للرجل وكذلك فهناك رجال أصحاء يظلوا مدى حياتهم قادرين على إتمام هذه العملية الجنسية. والأسباب العضوية لمرض اللعنة كثيرة ومتعددة منها إضعاف الأعصاب المصدرة (الخارجة) Efferent nerves أو إضعاف التنبيه النازل من المخ أو لفشل فى جهاز الغدد الصماء. والغمور أيضا تؤثر بدرجة كبيرة وتسبب ظهور مرض اللعنة هذا وقد يكون ذلك عن طريق عملها على إظهار أكثر من عامل من العوامل المسببة للمرض. كما أن بعض الأمراض خاصة مرض السكر تسبب أيضا ظهور حالة اللعنة. كما يمكن أن تظهر حالة اللعنة هذه كنتيجة لبعض العوامل الفسيولوجية أو النفسية والتي تؤثر على الأعصاب للنزلة من المخ.

عملية القذف Ejaculation عملية خروج السائل المنوى من القضيب يطلق عليها القذف وهذه العملية تعتمد أساسا على فعل إتمكلى شوكى Spinal reflex. والمسلك العصبى الداخلى والمسبب لعملية القذف يحتر مطابق للنس المسلك الداخلى والمسبب لعملية الإنتصاب (راجع شكل ١٦-٤). وعندما يصل مستوى التنبيه (التشيط) لإنتاج كمية كافية من مجموع جهود التشابك Synaptic potentials يسبب إظهار نظام أتوماتيكى متعاقب لتفريغ الشحنات العصبية الخارجة - ويمكن تقسيم هذا النظام إلى مرحلتين (دورين) هما : المرحلة الأولى وهي مرحلة الإطلاق أو التفريغ Emission : ونفها يحدث إنقباض لكلا من العضلات الناعمة والبربخ والوعاء التنقل والقلعة والقلفة وغدة البروستاتا والحوصلة المنوية (لاحظ أن الحديث عن خصية واحدة وما يحدث بها يحدث أيضا بالفصية الثانية) ويحدث هذا الإنقباض كنتيجة لتنبيه الأعصاب المسببولة وينتج عنه خروج للحيوانات المنوية وإفرازات الغدد المساعدة ودخولها فى قناة مجرى البول. أما المرحلة الثانية فنيها يخرج السائل المنوى (حجمه حوالى ٣سم^٣ فى الإنسان وبه حوالى ٣٠٠ مليون حيوان منوى) من قناة مجرى البول بواسطة إنقباضات سريعة ومتعاقبة لكلا من العضلات الناعمة الموجودة بقناة مجرى البول والعضلة الهيكلية الموجودة بقاعدة القضيب.

ولثناء عملية القذف تنقل العضلة الماصرة Sphincter (راجع الباب الثانى عشر) الموجودة أسفل المثانة البولية والفقلى لا يسمح للحيوانات المنوية بدخول المثانة البولية كما لا يسمح أيضا للبول أن يختلط بالسائل المنوى.

وجدير بالذكر أنه بالرغم من أن عملية الإنجاب **Erection** تشمل في داخلها تنطيط للأعصاب السمبثاوية الموصلة للشرينات الموجودة في القضيب. إلا أن عملية القذف **Ejaculation** تشمل تنبيه للأعصاب السمبثاوية الموصلة للمضلات الناعمة في النظام القوي **Duct system**.
أما الإيقاع الإنقباضي للمضلات والذي يحدث أثناء عملية القذف يكون مصحوبا بمتعة وسعادة وبهجة شدة. (فائقة) وعديد من التغيرات الفسيولوجية المنتظمة، وهذه الأحداث الكلية يصطلح على تسميتها بـ **Orgasm** . كما يحدث أيضا أثناء القذف عديد من الإقباضات القوية للمضلات الهيكلية على مدار الجسم كله، وزيادة في معدل ضربات القلب وضغط الدم. ويعقب عملية القذف إرتخاء عضلي وفسيولوجي.

ويعد عملية القذف مباشرة تستمر فترة من الزمن لا يمكن للقضيب أن ينتصب فيها مرة أخرى وتسمى هذه الفترة بفترة الكمون **Latent period** وتختلف طول هذه الفترة من إنسان لآخر فقد تستمر لمدة دقائق أو لمدة عدة ساعات.

التحكم الهرموني للوظائف التناسلية في الذكور :

Hormonal Control Of Male Reproductive Functions :

يتفق كثير من العلماء على أن التحكم الهرموني لوظائف الذكر التناسلية يبدأ من منطقة تحت المهاد **Hypothalamus** حيث تقوم بإفراز هرمونها العصبى **Gonadotropin releasing hormone (GnRH or GHRH)** وهذا الهرمون يصل إلى الفص الأمامى للغدة النخامية ويذهب لإفراز هرمونين هما : الهرمون المنبه لنمو الحويصلات المبيضية **Follicle Stimulating Hormone** والهرمون المحث للتبويض **Luteinizing hormone (LH)** .

وينتقل هرموني **LH & FSH** عن طريق للدورة الدموية إلى الخصية **Testis** حيث يقوم هرمون **LH** بتنشيط خلايا **Leydig cells** لإفراز هرمون التستسترون. ويحمل هرمون التستسترون المفرز موضعيا (بدون إنتقال عن طريق الدورة الدموية) على خلايا **Sertoli cells** حيث ينشط عملية تكوين الحيوانات المنوية **Spermatogenesis**.

ويقوم هرموني التستسترون المفرز من **Leydig cells** وهرمون **FSH** المفرز من الفص الأمامى للنخامية بالعمل على خلايا **Sertoli cells** (لاحظ أن هرمون التستسترون يعمل في هذه الحالة موضعيا) حيث ينشطان عملية تكوين الحيوانات المنوية **Spermatogenesis** كما ينشطان خلايا **Sertoli cells** أيضا لتخليق وإفراز هرمون **Inhibin** والذي يصل عن طريق الدم للفص الأمامى

للخامية ليثبط فقط إفراز هرمون FSH (تنظيم أو تثبيط رجعى سالب Negative feedback بين الخصية والغص الأمامى للخامية).

أما هرمون التستوسترون المفراز من الخصية فيعود عن طريق التنظيم الرجعى السالب Negative feedback mechanism إلى الغص الأمامى للخامية ليثبط فقط إفراز هرمون LH كما يعود أيضا إلى منطقة تحت المهاد Hypothalamus ليثبط إفراز GHRH كما يعمل هرمون التستوسترون على القناة التناسلية Reproductive tract وعلى أعضاء أخرى بالجسم ليظهر صفات الجنس الثانوى للذكورة.

ملخص لبعض الوظائف البيولوجية لهرمون التستوسترون فى الذكور :

Biological Actions Of Testosterone In The Male :

١- يحمل على خلايا Sertoli cells وهو ضرورى لعملية تكوين الحيوانات المنوية Spermatogenesis -٢- يثبط إفراز GHRH عن طريق آلية التنظيم الرجعى السالب على منطقة تحت المهاد Hypothalamus -٣- يثبط إفراز هرمون LH من الغص الأمامى للخامية عن طريق آلية التنظيم الرجعى السالب -٤- يحدث تمويز الأعضاء الجنسية المساعدة ويسبب إستدامتها كما يسبب إستدامة وظلتها -٥- يسبب ظهور صفات الجنس الثانوى للذكورة -٦- ينشط عملية بناء البروتين Protein anabolism ونمو العظام Bone growth كما يقوم بالمعاونة مع هرمونات أخرى بقل مناطق النمو فى العظام بعد تمام النمو -٧- يسبب إستدامة النشاط الجنسي ويحسن سلوك الحلف بالنسبة للرجال.

تركيب ووظائف الجهاز التناسلى الأنثوى :

Structure And Function Of The Female Reproductive System :

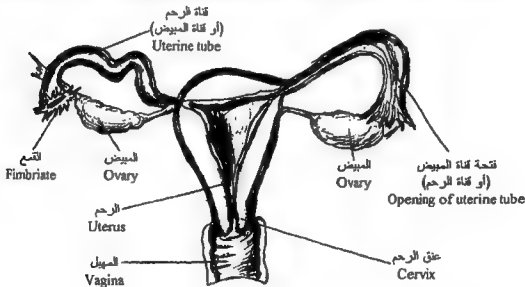
على عكس الإنتاج المستمر للحيوانات المنوية فى الذكور فإنتاج البويضات فى الإناث يحدث من المبيض بعملية تسمى التبويض Ovulation وهى عملية دورية (أى تحدث فى دورات) وتسمى هذه الدورة فى النساء بالدورة الشهرية أو دورة الحيض أو دورة الطمث أو الدورة القمرية Menstrual cycle ومدتها ٢٨ يوم فى المتوسط ومن هنا جاءت تسميتها بالدورة القمرية وأول يوم يحدث فيه النزف الدموى Menstrual bleeding يطلق عليه اليوم الأول ويصطلح على تسمية هذا النزف الدموى بالطمث أو الحيض Menstruation.

أما فى الحيوانات الزراعية فتسمى هذه الدورة بدورة الشياح أو دورة الشبق Estrus cycle ومدتها فى الأغنام حوالى ١٦ - ١٧ يوم فى المتوسط. وفى هذه الحيوانات لا تقبل الأنثى الذكر ولا

تسمح له بالوثب عليها لتلقيحها إلا لعدة ساعات معدودة تسمى بدور الشياح وتسمى هذه الحيوانات بحيوانات ذاتية التوبيض Spontaneous ovulators وهناك حيوانات أخرى مستحقة التوبيض Induced ovulators مثل الأرنب فلا يحدث بلثى الأرنب عملية التوبيض Ovulation إلا بعد تيبه عنق الرحم بحوالى ١٢ ساعة عن طريق عملية التلقيح أو باستخدام قضيب زجاجى. أما بالنسبة للدجاج فالدجاجة تبيض بيضه كل ٢٥,٥ ساعة وتم هذه العملية فى دورات فيمكن أن تبيض الدجاجة ثلاثة بويضات فى ثلاثة أيام متتالية وتتوقف يوم وهذه الدورة تتوقف على نوع الدجاجة وساعات الإضاءة إلى الإظلام.... الخ من عوامل أخرى.

وبالنسبة للنساء فأمم حادث بالنسبة للدورة الشهرية هو حدوث النزف الدموى (الطمث) Menstruation مرة أخرى إذا لم يحدث حمل. وتكرر حدوث الحيض يأتى كنتيجة لعدة أحداث تحدث فى الرحم Uterus وهو مصدر النزف الدموى Menstrual bleeding. وهذه التغيرات أو الأحداث التى تحدث فى الرحم أثناء الدورة الشهرية تأتى كنتيجة لدورات إفرازية من الهرمونات التى يقوم بإفرازها المبيض بالكامل مع إفرازات الفص الأمامى للخناخية والهيپوثالامات. حيث توجد علاقة تداخلية بين إفرازات المبيض والخناخية الأمامية والهيپوثالامات وينتج عن هذه العلاقة حدوث التوبيض Ovulation كل دورة وإفراز بويضة واحدة غالباً وأيضاً إفراز الهرمونات التى تسبب هذه التغيرات الدورية فى القناة التناسلية الأنثوية والتى تشمل الرحم أيضاً.

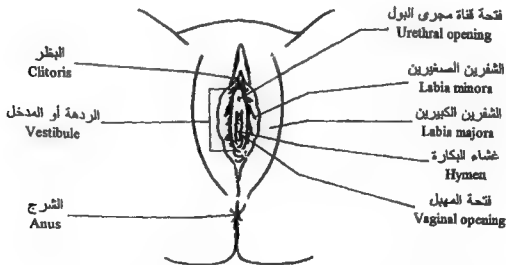
التركيب التشريحي للجهاز التناسلى فى الأنثى : الجهاز التناسلى الأنثوى (شكل ١٦-٦) يشمل المبيضين Ovaries والقناة التناسلية الأنثوية Female reproductive tract والتى تتضمن الأبيوبتين



شكل (١٦-٦) : مخطط يوضح الجهاز التناسلى الأنثوى.

الرحميتين Two uterine tubes والرحم Uterus والمهبل Vagina. هذا ويصطلح على تسمية هذه التراكيب أيضا بالأعضاء التناسلية الأنثوية الداخلية (The female internal genitalia) (لاحظ أنه في الأنثى بخلاف الذكر يكون الجهاز القوي البولي منفصل تماما عن الجهاز القوي التناسلي). والمبيضين Ovaries أولهم يرتقي وإلهم شكل لوزي في الإنسان (المبيض شكل اللوزة) ويوجدان في الجزء العلوي من تجويف حوض البورك Pelvic cavity (واحد على كل جانب من الرحم). ولا تتصل نهايتي قناتي الرحم مباشرة بالمبايض ولكنها تفتح على شكل قمع متداخل (منطبق) مع المبايض. ويجدر الإشارة أيضا أن قناة الرحم يطلق عليها أيضا قناة المبيض Oviduct كما يطلق عليها أيضا قناة فالوب Fallopian tube. وكما ذكرنا فنهاية قناة المبيض تكون على شكل قمع ذات حافة تبدو مشوشة كتنتيجة لوجود زوائد على شكل الأصابع وهي مبطنة بслиج طلائي مهذب Ciliated epithelium (شكل ١٦-٦). أما النهايتين الأخريتين لقناتي الرحم (قناتي المبيض) فتتصل بالرحم (شكل ١٦-٦). والرحم Uterus عضو عضلي Muscular organ عبارة عن تجويف سميك الجدار يوجد موضوع بين المثانة البولية والمستقيم Rectum. والرحم هو مصدر النزف الدموي أثناء الحيض كما أنه المكان الذي يأوي الجنين أثناء الحمل. والجزء السفلي من الرحم عبارة عن عنق الرحم Cervix. وهناك اتصال ضيق يفتح في عنق الرحم يسمى المهبل Vagina. والمهبل عبارة عن القناة الموصلة من الرحم إلى خارج الجسم.

أما أعضاء الجنس الخارجية الأنثوية Female external genitalia ويطلق عليها أيضا



شكل (١٦-٧) : الشكل يوضح الأعضاء الجنسية الخارجية الأنثوية Female external genitalia.

Vulva (شكل ١٦-٧) وتشمل القاعة Mons pubis والشفرين الكبيرين Labia majora والشفرين الصغيرين Labia minora والبظر Clitoris والمدخل (المجاز أو الردهة) Vestibule (مدخل المهبل Vestibule of the vagina وغدد المدخل Vestibular glands).

وظائف المبيض Functions Of The Ovary : المبيض مثل الخصية في أنه يقوم بنوعين من الوظائف وهما عملية تكوين البويضات Oogenesis (إنتاج الجاميطات) والثانية وهي إفراز هرمونات الجنس الأنثوية الإسترويدية Female steroidal sex hormones وهما الإستروجين Estrogen والبروجسترون Progesterone بالإضافة إلى إفراز بعض الهرمونات الستيرويدية مثل هرمون الأنهيبيين Inhibin. وهرمون Inhibin يتكون من عدد إثنتين Subunits وهما β -Subunit و α -Subunit & ويوجد نوعين من هرمون Inhibin وهما Inhibin A and Inhibin B والـ α -Subunit متشابه في كلا النوعين أما الـ β -subunit فهي مختلفة في كلا منهما. وكلا من Inhibin A and Inhibin B يبطئ إفراز GHRH من الهيبوثلام. أما لو إتحدت β -subunit فهي كلا من Inhibin A and B مع بعضهما يتكون هرمون آخر يسمى Activin وهو ينشط إفراز GHRH من الهيبوثلام (على عكس هرمون Inhibin). وفي السنوات الأخيرة اكتشف أن المبيض يقوم بإفراز عدة هرمونات ببتيدية أخرى مثل هرمون ACTH المفرز من الفص الأمامي للخلافة وهرمون β -endorphin وهرمون Oxytocin وهرمون Vasopressine وجميع هذه الهرمونات تفرز من الغدة النخامية لكن وظيفتها الإقرازية من المبيض لم تتضح حتى الآن لكن يعتقد أنها تقوم بوظائف Paracrine and Autocrine Functions أما هرموني Oxytocin و Vasopressine فيعتقد أنها تفرز من المبيض وتطور في الدم.

وقبل التبويض Ovulation تختص الحويصلات المبيضية Ovarian follicles بكلا الوظائفين وهما تكوين الجاميطات والإفراز الهرموني. أما بعد التبويض فتتميز الحويصلة المبيضية إلى تركيب آخر يسمى الجسم الأصفر Corpus luteum وهو يختص بالإفراز الهرموني فقط حيث يقوم بإفراز هرمون البروجسترون والإستروجين.

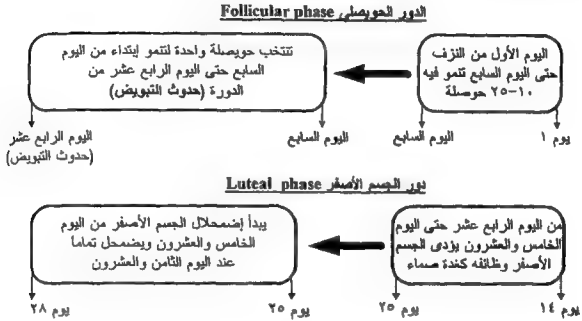
نمو الحويصلات المبيضية Growth Of The Ovarian Follicles توجد البويضات Eggs أثناء حياتها في المبيض في تراكيب تسمى حويصلات Follicles وتبدأ هذه الحويصلات في شكل حويصلات أولية (بدائية-أساسية) Primordial follicles والتي تحتوى على بويضة أولية واحدة (بويضة قبل التضج) محاطة بطبقة واحدة من الخلايا تسمى الخلايا المحيطة (المهرغلة) Granulosa cells (شكل ١٦-٨) ثم تنمو وتطور هذه الحويصلة الأولية عن طريق زيادة حجم الـ

وفي بداية الدورة الشهرية (دورة الطمث) تبدأ حوالي ١٠-٢٥ حويصلة من الـ **Preantral follicles** في النمو والتطور لتصبح **Antral follicles** والسبب في إختبار هؤلاء المشرة إلى ٢٥ حويصلة غير معروف وقبل أسبوع من إنتهاء الدورة تبدأ عملية إنتخاب أخرى لحويصلة واحدة **The dominant follicle** وهذه تستمر في النمو لتكون الحويصلة المبيضية الناضجة، أما باقي الحويصلات فيحدث لها عملية إضمحلال تسمى **Atresia**. وفي اليوم الرابع عشر من الدورة في السيدات يحدث التبويض حيث ينفجر الجدار الرقيق الموجود في منطقة إلتحام الحويصلة الناضجة بالمبيض.

تكوين الجسم الأصفر Formation Of The Corpus Luteum: بعد حدوث التبويض وخروج سائل الـ **Antrum** والمبيضة **Egg**، تبقى البقية الباقية من الحويصلة المنفجرة حول تجويف الـ **Antrum** وتقوم بعمل تحول سريع حيث تتضخم خلايا الـ **Granulosa** بدرجة كبيرة ويمر إلى الداخل شبكة من الشعيرات الدموية المتكونة حديثاً حيث يظهر تركيب يشبه الغدة داخلية الإفراز يعرف باسم الجسم الأصفر **Corpus luteum** والذي يقوم بإفراز هرمون البروجسترون وهرمون الإستروجين وهرمون الأنثيين **Inhibin**. وبعد ذلك لو أن المبيضة التي دخلت قناة المبيض أخصبت يستمر الجسم الأصفر، أما لو لم تخصب المبيضة فيفصل الجسم الأصفر لأقصى نمو بعد عشرة أيام بعدها يضمحل بسرعة وإضمحلال هذا الجسم الأصفر هو الذي يسبب بدء إعادة الدورة من جديد.

هذا ويمكن تقسيم الدورة الشهرية إلى مرحلتين (دورين) متساويتين في طول مدة كلا منهما ويفصلهما عن بعضهما حدوث التبويض **Ovulation** وهما الدور الحويصلي **Follicular phase** والذي يحدث فيه إنتاج حويصلة ناضجة و **Secondary oocyte** ويبدأ من اليوم الأول للنزف حتى اليوم الرابع عشر (شكل ١٦-٩). والثاني وهو دور الجسم الأصفر **Luteal phase** ويبدأ هذا الدور بعد التبويض في اليوم الرابع عشر من الدورة في النساء وينتهي بإختفاء الجسم الأصفر في اليوم الثامن والعشرون (شكل ١٦-٩). وبالتالي فيمكن أن نوضح الآن مواقع وتوقيت إفراز الهرمونات المبيضية، فهرمون الإستروجين **Estrogen** يفرز أثناء الدور الحويصلي قط من خلايا **Granulosa cells**. أما بعد التبويض فهو يفرز من الجسم الأصفر. أما هرمون البروجسترون **Progesterone** فهو يفرز بكميات ضئيلة جداً قبل التبويض مباشرة من كلاً من خلايا **Granulosa cells** وخلايا **Theca cells**، أما المصدر الرئيسي لهذا الهرمون فهو الجسم الأصفر الذي يستمر في إفرازه بكميات كبيرة أثناء الثمانية أسابيع الأولى من الحمل حيث يسبب هذا الهرمون إستدامة الحمل بعد ذلك تكون الكميات المفترزة من هرمون البروجسترون من الجسم الأصفر غير كافية لإستدامة الحمل لذلك يعتمد إستدامة

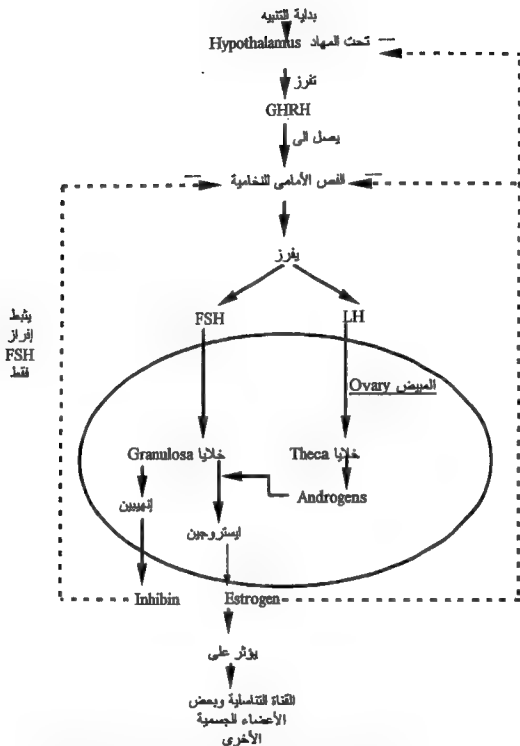
الحمل أساساً على هرمون البروجسترون المفرز من المشيمة Placenta. أما هرمون الأكتيهبين Inhibin فهو هرمون يفرز من كلا من خلايا Granulosa cells وخلايا الجسم الأصفر Corpus luteum.



شكل (١٦-٩) : الشكل يوضح ملفساً لوظيفة المبيض أثناء الدورة الشهرية موضحاً الدور الحويصلي ودور الجسم الأصفر.

ويجدر الإشارة هنا أن خلايا Granulosa and theca cells تقوم بإفراز بعض عوامل النمو مثل Insulin-like growth factors وهذه العوامل قد يكون لها دور هام جداً بالنسبة لوظائف المبيض لكن هذا الدور غير معروف حتى الآن ويعتقد البعض أن هذه العوامل تؤدي وظائفها البيولوجية على خلايا مجاورة للخلايا التي ألترزتها Paracrine function أو ذاتياً على نفس الخلايا التي ألترزتها Autocrine function.

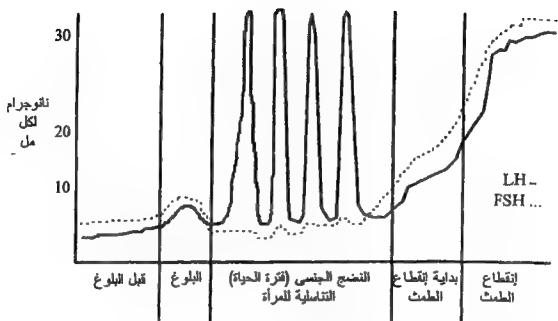
الإفراز الداخلي للمبيض The Endocrine Ovary نشاط المبيض يمثل نشاط الخصيتان فهو يبدأ في أنثى الإنسان (البنت) عند عمر البلوغ الجنسي وذلك عند تكامل وظائف كلا من الهيبوثالامات والغدة الأمامية للخامية والمبيض مع بعضهما والذي يطلق عليه Hypothalamo-pituitary-ovarian system (شكل ١٦-١٠). ويوضح هذا الشكل إنه في البداية تنبه الهيبوثالامات



شكل (١٦-١٠) : الشكل يوضح ملخص التحكم الهرموني في وظائف المبيض في بداية ووسط الدور الحويصلي ويتضح فيه أن هرمون Inhibin المنفرز من خلايا Granulosa يثبط فقط إفراز هرمون FSH من الفص الأمامي للنخامية كما يتضح فيه أيضاً أن الهرمونات الذكورية Androgens المنفرزة من خلايا Theca تتحول إلى المبيض أيضاً إلى هرمون الإستروجين.

إفراز هرمون **GH-RH** الذي يصل للفص الأمامي للغدة النخامية وينبه لإفراز هرموني **FSH** و **LH** واللذان يصلان للمبيض عن طريق الدورة الدموية. ويؤثر هرمون **LH** على خلايا **Theca** بالمبيض وينبها لإفراز الهرمونات الذكورية **Androgens** حيث تتحول هذه الهرمونات داخل المبيض إلى هرمون الإستروجين (مثالا لذلك هو تحول هرمون **Testosterone** إلى هرمون **Estrogen** عن طريق فعل نشاط إنزيم **Aromatase enzyme**). أما هرمون **FSH** فيؤثر على خلايا **Grannlosa** cells وينبها لإفراز هرمون الإستروجين **Estrogen** وهرمون الأنهيبيين **Inhibin**. ويمود هرمون **Inhibin** عن طريق التلقين الرجعي السالب **Negative feedback** ليثبط إفراز هرمون **FSH** فقط من الفص الأمامي للغدة النخامية. أما هرمون الإستروجين **Estrogen** فهو يؤدي وظائفه البيولوجية على كلا من القناة التناسلية وبعض الأعضاء الجسمية الأخرى كما يؤثر أيضا على خلايا المبيض التي أفرزته **Autocrine function** حيث يسبب زيادة عدد مستقبلات **FSH** بها. كما يعود هرمون الإستروجين عن طريق الدورة الدموية ليقوم بعمل تلقين رجعي سالب ليثبط إفراز **FSH** و **LH** من الفص الأمامي للنخامية، ويحتمل أيضا (غير مؤكد حتى الآن) أن يقوم بتنشيط إفراز هرمون **GH-RH** من الهيبوثالامات. (لاحظ أن ما سبق شرحه يختلف عن نظام العوامل المؤثرة على نشاط المبيض أثناء فترة الحمل).

وفي البداية (في مرحلة ما قبل البلوغ مباشرة) يكون إفراز هرمون **LH-RH** من الهيبوثالامات غير منظم وبالتالي تكون إفرازات كلا من هرموني **FSH** و **LH** غير منتظمة أيضا. ثم تبدأ هذه الهرمونات بتنظيم إفرازها في دورات متعاقبة أثناء فترة الحياة التناسلية للمرأة حتى تصل المرأة إلى مرحلة إنقطاع الحيض أو الطمث **Monopause** (عند عمر ٤٥ سنة تقريبا) حيث تنتهي هذه الدورات الإفرازية من هرمونات **FSH** و **LH** و **GH-RH** (شكل ١٦-١١). حيث تتميز مرحلة إنقطاع الطمث أو الدورة بارتفاع مستويات كلا من **FSH** و **LH** في بلازما الدم كنتيجة لنقص هرمونات المبيض (خاصة **Estrogen** و **Inhibin A & B**) والتي تقوم بعمل تغذية أو تلقين رجعي سالب (أي نتيجة لغياب **Negative feedback mechanism**).



شكل (١٦-١١) : نظام إفراز هرموني **FSH & LH** أثناء دورة حياة أنثى الإنسان ويرى في الشكل أنه قبل البلوغ يكون هناك إفراز غير منتظم من هرموني **LH & FSH** ومع إكمال عمر البلوغ ينتج عنه زيادة إفراز **LH** عن **FSH** كما يأخذ **LH** نظام الدورات في إفرازه حيث يرتفع إفرازه مرة (عند التبويض) في كل دورة وعند انتهاء هذه الدورات والدخول في إنقطاع الطمث يرتفع إفراز كلا من **LH & FSH** كنتيجة لغالب هرموني الإستروجين والبروجيستيرون.

تحدثنا فيما سبق عن التحكم الهرموني في عملية التكاثر والأجهزة التناسلية في الإنسان، أما بالنسبة لحيوانات التجارب والحيوان الزراعي فهناك بعض الاختلافات البسيطة والتي سنورد ذكرها بإذن الله في هذا السرد القادم. ومثالا لذلك فالدورة الشهرية أو دورة الحيض يقبلها في الحيوان دورة الشبق *Estrous Cycle* ودورة الشبق هي الفترة بين شبق *Estrous* والشبق التالي له (أي هي الفترة بين شبتين متتاليتين منتظمين) والشبق هي الفترة التي تقبل فيها الأنثى الذكر للوثب عليها وتتميز فيها هذه الأنثى بالعلامات التالية : ١- القلق والاضطراب وكثرة الحركة مع إصدار أصوات ٢- تقوم بالإمتناع عن الأكل ٣- تعتمد عن القطيع ٤- تقوم الإناث الأخرى بالوثب عليها أو تثب هي على الإناث الأخرى ٥- إلتهاج وتورم شفرى المهبل مع وجود إفراز شفاف مخاطي يتساقط من شفرى المهبل وتظل الأنثى هكذا طوال مدة الشبق فإذا لم تخصب تزول هذه الأعراض بعد فترة من الوقت ومتوسط هذه الفترة يختلف باختلاف الأنواع فهو ٣٠ ساعة في الأغنام و١٤ ساعة في الأبقار وحوالي ٥٥ ساعة في الخنزير و٧,٥ يوم في الفرس. وإذا لم يحدث حمل *Pregnancy* تعود هذه الأعراض مرة أخرى بعد فترة من اختفائها وهذه الفترة تختلف أيضا باختلاف الأنواع فهي ١٦-١٧ يوم في المتوسط في الأغنام و٢١ يوم في الأبقار والفرس والخنزير والماعز و٢١-٢٢ يوم في الجاموس و٤-٥ يوم في الفار وتسمى هذه الفترة بدورة الشبق *Estrous cycle*. ومثل الإنسان فالتشاء دورة الشبق تحدث تغيرات في مبيض الحيوان حيث تنمو الحويصلة الميضية لأقصى حجم لها لتصبح حويصلة مبيضية ناضجة وبعد ذلك يحدث التبويض ويتكون مكان الحويصلة الجسم الأصفر تماما كما يحدث في الإنسان حيث يقوم بنفس الوظائف.

موعد التلقيح المناسب للحيوانات : يتم تلقيح الحيوانات في وقت مناسب لموعد التبويض وذلك لضمان حدوث الإخصاب. ولذلك يجب أن يكون موعد التلقيح قريب من موعد التبويض ولهذا السبب أجرى كثير من العلماء تجارب عديدة لتحديد موعد التبويض في الأنواع المتعددة من الحيوانات الزراعية ووجد أن التبويض يحدث في الأغنام بعد حوالي ٢٦ ساعة من بدء الشبق وفي الأبقار بعد ١٤ ساعة من نهاية ظهور الشبق وفي الفرس في اليوم الأخير من الشبق أو بعده بيوم. هذا وعند تلقيح الحيوانات السابقة في موعد مناسب يحدث الحمل.

وهناك علامات تظهر على الأنثى الحامل وهي: ١- عدم ظهور علامات الشبق وتوقف دورته. ٢- إمتناع الأنثى عن الوقوف للذكر ليثب عليها. ٣- إستدارة جسم الأنثى وزيادة وزنها وسمتها. ٤- هدوء الأنثى وقلة شراستها. ٥- كبر البطن وتدلوه إلى أسفل. ٦- نقص إدرار اللبن في الماشية الحلابة وكبر الضرع ويزوره في الماشية الغير حلابة. ٧- يمكن أيضا معرفة الحمل بجس الحيوان وذلك عن طريق الجس المستقيم للحيوان وتحتاج هذه العملية لشخص متدرب ذو خبرة عالية.

هذا والفترة بين التلقيح المخصب حتى حدوث الوضع تسمى بمدة الحمل وهذه الفترة تختلف أيضا بين الأنواع المختلفة فهي ١٠,٥ شهر في الجاموس وتسعة شهور في الأبقار وخمسة شهور في الأغنام و١١ شهر في الفرس. وبعد الولادة لا تكفى دورة الشبق مرة أخرى إلا بعد فترة يحدث فيها إتكمال للرحم وعودته لحجمه الطبيعي وتختلف أيضا هذه الفترة بين الأنواع المختلفة فتقدر بحوالى شهرين فى الأبقار.

هذا ويجب ملاحظة أن هناك علامات للولادة تظهر على الحيوان قبل الولادة بفترة بسيطة ومن هذه العلامات كبر ضرع الأنثى واضطرابها وكثرة حركتها ونزول سائل لزج من الحلمات وتورم فتحة الحياء وإحتقان الغشاء المخاطى مع نزول إفرازات مهبلية مخاطية لزجة منه. أما بداية عملية الولادة فتبدأ بظهور الكيس الأمنيونى (الكيس المائى أوكد يسمى بالعامية طش القرن). وبمجرد ظهور هذا الكيس وإتفجاره يبدأ ظهور الجنين والرأس بين المقدمتين أو بالمؤخرتين إذا كانت الولادة طبيعية أما غير ذلك فيقوم العامل المدرب أو الطبيب البيطرى بمساعدة الحيوان على إتمام الولادة الطبيعية.

الباب السابع عشر

الجهاز المناعي

The Immune System

مقدمة Introduction المناعة Immunity تعتبر من أهم آليات حماية الإنسان الداخلي Protecting homeostasis بجسم الإنسان أو الحيوان عموماً. أو بمعنى آخر هي آليات حماية الجسم ضد الميكروبات التي تسبب المرض عموماً. وأهم وأخطر الأمراض الشائعة في وقتنا الحالي هي أمراض السرطان Cancer ومرض نقص المناعة المكتسبة (الإيدز) Acquired Immune Deficiency Syndrome (AIDS).

وفي الماضي كانت البكتيريا والفيروسات منتشرة بدرجة كبيرة ويصعب مقاومتها أو التغلب عليها لذلك كانت تقتل بالاشخاص وتسبب الوفاء في كثير من الأحيان لذلك ظهرت مقولة في هذا الوقت وهي أنه هناك خطراً لئلا وجدت الحياة. بالإضافة إلى ذلك فإن بعض الأمراض العضوية كانت تقتل بالضحايا لعدم وجود علاج لها مثل مرض السكر (البول السكري) والالتهونزا مثلاً. وقبل أن تتوفر اللقاحات Vaccines والمضادات الحيوية Antibiotics كان الجرح البسيط يسبب خطر على الحياة في حالة حدوث عدوى وانتشارها في مجرى الدم.

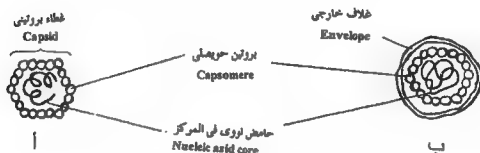
ولذلك فلكي نتفهم أهمية دراسة الجهاز المناعي بالجسم، يجب أن نرجع إلى الوراء لمائتي عام حيث كانت بعض الأوبئة المميتة عن أمراض فيروسية مثل الجدري والحمى الصفراء تسبب وفيات ملايين الأفراد وكان الإنسان يقف أمام هذه النكبات مكتوف اليدين لمجزة عن إيجاد مسببات لهذه الأوبئة للفيروسية يهيا لها أسباب العلاج. ثم تبين بعد ذلك أن هذه الآفات الفيروسية لا تقتصر أضرارها على الإنسان بل تمتد كذلك إلى الحيوان والنبات حيث تصيب هذه الفيروسات النباتات فتسبب تشوهاها أو تدمرها أو تقليل إنتاجها أو هلاكها. وكان لإكتشاف مسببات هذه الفيروسات في النبات وفي نبات الدخان على وجه الخصوص بمثابة الشمعة التي أضاءت الطريق أمام الإنسان للتغلب على بعض هذه الفيروسات خاصة بعد ما تبين علاقة الفيروسات ببعض حالات السرطان.

الفيروسات Viruses : الفيروس Virus كلمة لاكينية تعني السم أو الجوهر المعدي وقد اختلفت الآراء في طبيعتها فهي شيء محرم بالنسبة لطعام البيولوجي، فبعض العلماء يستدل على أنها ليست كائنات حية لأنها لا تستطيع التكاثر بمفردها ولا تستطيع الاستجابة للمنبهات Stimuli. كما يستدل أيضاً على أنها ليست خلايا لأنها لا تحتوي على سيتوبلازم كما أنها أيضاً لا تحتوي على

عضيات Organelles ميتوبلازمية. ويذهب بعض العلماء إلى أن هذه الفيروسات كانت حية ممرضة ليس لها تركيب خلوي وهي متطفلة بالإجبار أي أنها لا تنشط ولا تتكاثر إلا في جسم كائن حي آخر.

وبعض العلماء يعتبر الفيروسات نباتات حيث تتبع تحت الترتيب الفيروسي **Order virales** التي تتبع قسم النباتات الأولية **Protophyta** والبعض الآخر من العلماء يضع الفيروسات في مملكة خاصة وهي مملكة الفيروسات **Virus Kingdom**.

التركيب الكيميائي للفيروسات Chemical Structure Of Viruses : للفيروسات عبارة عن محتويات أو طرود صغيرة **Pakets** إما من الحامض النووي **DNA** أو الحامض النووي **RNA** مغطاء بغطاء **Coat** من البروتين (شكل ١٧-١). والماء يحمل الفيروسات كما تحملها ذرات الغبار بالهواء وفي بخار الماء الذي يتبخر للجو. كما تنتشر إلى الهواء عندما يعطس أحد الأشخاص كما قد تنتقل من شخص إلى آخر عن طريق المصافحة أو الاتصال الجنسي تبعا لنوع الفيروس.



شكل (١٧-١) : الشكل يوضح التركيب العام للفيروس، الشكل أ يوضح أن الفيروس يتكون من طرد من الحامض النووي إما **DNA** أو **RNA** موجود بمركز الفيروس ومغطى بغطاء بروتيني والشكل ب- يوضح أنه يمكن أن تحفط طبقة واقية للفيروس تسمى الغلاف.

وأعراض الأنفلونزا وأيضا أمراض البرد سببها فيروس وتنتشر أساسا عن طريق المصافحة، إذا نصبح بفصل اليدين باستمرار خصوصا في مواسم البرد وعند وجود شخص مصاب بالبرد. كما ينصح بإبعاد اليدين عن الأعين والأنف والقدم إلى أن يتم غسلهما. والفيروسات تنتشر بسرعة كبيرة من شخص إلى آخر لدرجة أن نصف سكان العالم مصاب بفيروس الأنفلونزا الجديد خلال حوالي سنتين من ظهوره. وترجع مرة إنتقال الفيروسات إلى سفر الناس بدون قیوم من بلد إلى آخر كما أن الزحام يساعد كثيرا على إنتشار الأمراض المعدية بسرعة.

ونلاحظ في شكل (١٧-١) أن الفيروسات تحتوى في وسطها إما على الحامض النووى DNA أو RNA والذي يحاط بغطاء بروتينى **Capsid** يحمى الحامض النووى الموجود في مركز الفيروس (حمض نووى مركزى للمرتع). وهذا الغطاء البروتينى يتكون من ١٠٠-٣٠٠٠ من البروتينات الحويصلية **globular** أو **Capsomeres**. بعض هذه البروتينات يمكنها من الارتباط بالمستقبلات الموجودة على أسطح أغشية الخلايا، مما يسمح بالتهام (بدخول) الفيروسات إلى داخل الخلايا، وبعض من هذه البروتينات الحويصلية عبارة عن إنزيمات يمكنها هضم أجزاء من الأغشية البلازمية للخلايا مكونة ثقب تنفذ الفيروسات من خلالها إلى داخل الخلايا.

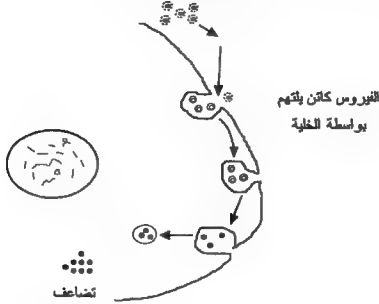
كما تحتوى فيروسات عديدة على غطاء إضافى يكون غلاف **Envelope** يحمى الفيروسات. يتكون هذا الغلاف من طبقة من الدهون والبروتين (الليپوبروتين) وإذا فهو يمثل للفشاء البلازمى للخلايا الحقيقية (راجع غشاء البلازما في باب الخلية).

وهناك أشكال وأحجام مختلفة من الفيروسات تشمل :

أ- الفيروسات الحويصلية (الكروية) **Globular viruses** -ب- الفيروسات متعددة الأسطح **Polyhedral** والتي تماثل ماسة عديدة الأسطح. -ج- الفيروسات الأسطوانية الطويلة. وتتكون من أسطوانة طويلة من البروتين تحيط بالحامض النووى المركزى للموقع. -د- الفيروسات الغير منتظمة الشكل **Odd-shaped** ومنها الفيروس المثلث البكتريا **Bacteriophage T₄ virus** وهو يهاجم خلايا البكتريا وهو يشبه مركبة للقضاء التى تهبط على سطح القمر فى أفلام الخيال العلمى وتتكون هذه الفيروسات من رأس تحتوى على الحامض النووى المركزى ومن ذيل تمتد منه خيوط **Tail filament**. يهبط هذا الفيروس على أسطح الخلايا البكتيرية موجها ذيله لأسفل فتقوم الإنزيمات فى جزئ الذيل بهضم ثقب صغير فى الغشاء البلازمى لخلية المائل، بعد ذلك يحقن الفيروس محتوياته من الحامض النووى إلى داخل خلية المائل (البكتريا).

كذلك تدخل الفيروسات إلى الخلايا بأن ترتبط أولاً مع المستقبلات البروتينية على أسطح الغشاء البلازمى لخلية المائل ومن ثم يتم إلتئامها إلى داخل المائل كما هو موضح بالشكل (١٧-٢) وبعد إلتئام خلايا المائل للفيروس يقوم الفيروس بإفراز محتوياته من الحامض النووى إلى سيتوبلازم خلية المائل بعد ذلك يتضاعف الـ DNA الفيروسى ليكون خيوطا مكملة **Complementary strands** يتم نسخها لتكون DNA فيروسى إضافى. هذا وتقوم جينات الفيروس الموجودة بداخل خلية المائل بعمل شفرة وراثية **Genetic code** لتصنيع إنزيمات معينة تؤدى إلى تضاعف الفيروس ذاتيا كما تعمل على تكوين RNA الرسول (**mRNA = messenger RNA**) الذى يصنع غطاء الفيروس

Capsomeres. ويجدر الإشارة هنا إلى أن الطلقة التي يستخدمها الفيروس في تصنيع كل ما سبق تكفي كلها من خلية المائل التي تخضع لسيطرة الفيروس الغازي مما يؤدي إلى توقف خلية المائل عن عمليات البناء والهدم الطبيعية الخاصة بها والالتزمة باستمرار حيويتها.

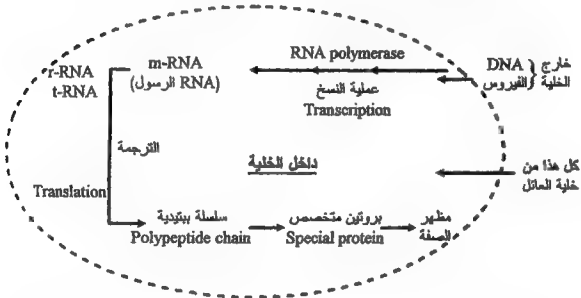


شكل (١٧-٢) : الشكل يوضح أحد الطرق التي يدخل بها الفيروس إلى الخلية لمغلاف البروتيني للفيروس يرتبط مع المستقبلات البروتينية على أغشية الخلية ثم يدخل الخلية ويتضاعف بداخلها.

كما تنشأ فيروسات جديدة داخل خلية المائل من البروتينات والأحماض النووية الفيروسية التي تم تصنيعها باستخدام الريبوسومات والعناصر الغذائية لخلية المائل. بعد ذلك يتم طرد Exocytosis للفيروسات الجديدة بأعداد قليلة على فترات من خلية المائل أو تخرج الفيروسات عن طريق التبرعم Budding وهذه العملية تُصنع للغلاف Envelope المحيط ببعض الفيروسات. وهنا يجب أن نشير إلى ثلاثة ملاحظات هامة وهي ١- أنه عند موت خلية المائل تتحرر جميع الفيروسات التي بداخلها. ٢- كما أنه من المهم أن نعلم أن خلية المائل المصابة بفيروس واحد قد تنتج حوالي ٨٠-٢٠ ألف فيروس جديد يتم إفرازها إلى السوائل المحيطة بخلية المائل ومن ثم تنقل بالدم أو الليمف لتغزو خلايا جديدة من الجسم. ٣- يلاحظ أيضاً أن الفيروسات لا يمكن إيقاف إنتشارها بواسطة المضادات الحيوية التي تقتل البكتيريا. لكن يمكن تكثير الفيروسات بواسطة الجهاز المناعي للجسم والذي لا يزيل جميع الفيروسات من الجسم نظراً لأنه قد يحدث اندماج للـ DNA من بعض الفيروسات مع DNA خلايا الجسم فمثلاً فيروس الهربس Herpes simplex (من النوع III) الذي توجد منه عدة سلالات والذي

يسبب تقرحات Lesions فى الجهاز التناسلى ويصيب حوالى ٢٠ مليون أمريكى وأمريكية. وبعد عدوى الفرد بهذا الفيروس مباشرة ينتج للفيروس بثرات Blisters على الأعضاء الجنسية والأفخاذ والأرداف. وتتفجر هذه البثرات مخلفة تقرحات مؤلمة على الجلد. والشفاء من المرض يحتاج من ١-٣ أسابيع لكن لا ينتهى الفيروس تماماً حيث يدخل إلى كتلة صغيرة من الخلايا العصبية على جانب العجز Sacrum ويظل بها لينشط على فترات تحت ظروف معينة مثل الضغوط والدورة الشهرية (دورة الطمث فى النساء) والجماع للجنسى (الاتصال الجنسي بين الرجل والمرأة) وحتى التعرض لضوء الشمس أيضاً قد ينشط ظهور الفيروس.

عملية التمثيل للفيروسات (أو التضاعف الذاتى للفيروسات) Viral Replication :
الفيروسات من نوع (أو المحتوية على) DNA تسمى DNA viruses يحدث لها تضاعف بأن ينتج الـ DNA المكون للفيروس خيوط مكملة Complementary strands بواسطة إنزيمات بلمرة DNA وتسمى DNA بوليميريز DNA polymerases ونيوكليوتيدات خلية المائل. هذه الخيوط المكملة تستعمل كشفرة لإنتاج RNA الرسول (m-RNA) بإستعمال نيوكليوتيدات RNA وإنزيم RNA بوليميريز RNA polymerase من خلية المائل كما هو موضح بالرسم التخطيطى التالى :



والبروتين للفيروس يتكون بإستخدام المكونات الموجودة بـ سيتوبلازم خلية المائل مثل الريبوسومات والـ RNA الناقل (t-RNA) Transfer RNA والأحماض الأمينية. وبأخذ نشاط الفيروس الأولية على كل أنشطة خلية المائل التى قد يتوقف نشاطها وتموت.

أما بالنسبة للفيروسات من نوع RNA والتي تسمى RNA viruses (سبق أن ذكرنا أن هناك فيروسات عبارة عن طرود من الحمض النووي الريبوزي RNA). فهذه الفيروسات تتضاعف ذاتياً داخل خلية المائل. وهناك عدة آليات تتضاعف هذه الفيروسات داخل خلية المائل، أحدها هذه الآليات تستخدمها الفيروسات العكسية Retroviruses حيث تحتوي على إنزيم تحمله معها داخل خلية المائل يسمى بالإنزيم الناسخ العكسي Reverse transcriptase enzyme وهذا الإنزيم ينشط (يفعل) تخليق الـ DNA من الـ RNA. والـ DNA الناتج في هذه الحالة يستخدم RNA فيروسى إضافي (أى يستخدم لإنتاج RNA فيروسية جديدة). وهذا الـ RNA الفيروسي لازم لإنتاج الفيروسات الجديدة ولازم أيضاً لتخليق الـ Viral capsomere والإنزيمات أيضاً.

والفيروسات تصيب جميع الكائنات بدءاً من البكتريا إلى النباتات والحيوان مثل الأبقار والإسبان ولذلك فقد صنفنا الفيروسات حسب نوع المائل إلى ثلاثة مجاميع هي -١- فيروسات تصيب النباتات **Phaginae** -٢- فيروسات تصيب الحيوان **Zoophaginae** -٣- فيروسات تصيب البكتريا **Phytophaginae** وبعض الفيروسات يمكنها إختراق حاجز النوع (أى يمكن أن تصيب نوعين من الحيوانات أو حيوان وإنسان) من أمثلتها فيروس مرض الكلب فينتقل هذا الفيروس من الكلاب إلى الإنسان.

ويعتقد أن فيروس الإيدز AIDS إنتقل من القرد الأخضر الأفريقى إلى الإنسان سواء بالملامسة أو عندما أكل بعض الناس لحمه الملوث بالفيروس (اعتقاد ما زال محل جدل حتى الآن).

والعدوى الفيروسية تسبب مشاكل تختلف تبعاً لطبيعة الفيروس والأنسجة المصابة. فهناك ٢٠٠ فيروس تسبب أمراض البرد العادية Common cold وهو مرض خفيف يكون مصحوباً برشح فسي الأنف والعطش وإلتهاب الزور والكحة. وهناك فيروسات عديدة تسبب مرض الإنفلونزا الذى يسبب شعور بالبرد والحمى والعطش وصداع وآلام في العضلات وإلتهاب في الزور. وهناك عديد من الفيروسات أيضاً تسبب الإلتهاب الرئوى Pneumonia وهى عدوى في الرئتين.

وهناك فيروسات أخرى تسبب مرض السرطان عن طريق دمج جيناتها المسرطنة مع جينات خلية المائل.

٢- البكتريا Bacteria : البكتريا عكس الفيروسات فهى كائنات حية وحيدة الخلية تحتوي خلاياها على كل أجهزة الأيض الغذائي Metabolic machinery اللازمة لحياتها وتكاثرها. والبكتريا التمثيلية عندما غشاء بلازمى يحيط بجدار خلوى Cell wall سميك يعمل كدرع خاص لها (أى يؤدي دور الحماية للخلية البكتيرية).

والمادة الوراثية بالبكتيريا عبارة عن خيط مفرد دائرى من الـ DNA وهو غير محاط بغطاء نووى كما فى الخلايا الحقيقية النواة Eukaryotic cells كما أنه لا يكون متحداً مع بروتين (راجع الخلية غير مميزة للنواة).

والبكتيريا لا تحتوى على عضيات سيتوبلازمية فيما عدا الريبوسومات. (راجع الخلية غير مميزة للنواة - باب الخلية).

والبكتيريا تنقسم بسرعة بعملية الإشتطار Binary fission ولذا فهى تتضاعف بسهولة ولا يوجد بها دورة خلوية مميزة. ويلاحظ أن تضاعف البكتيريا بالإشتطار يتم عند توافر العناصر الغذائية المناسبة.

والبكتيريا قد تكون ضارة بالخلايا وأنسجة وأعضاء الجسم مثلها مثل الفيروسات ومعظم البكتيريا المسببة للأمراض تفرز سموم Toxins أو إنزيمات تؤذى خلايا المائل أو تعطل وظائفها ومن أمثلة ذلك فهناك أمراض بكتيرية شائعة مثل التهاب الزور العقدي Strep throat وبعض أنواع الالتهابات الرئوية والتسمم الغذائى وإصابات قناة مجرى البول Urethra خاصة فى النساء حيث قصر قناة مجرى البول وسهولة مرور البكتيريا والتي قد تصيب المثانة البولية أيضاً.

كما أن هناك أنواع نافعة من البكتيريا وليست ضارة ومن أمثلتها : ١- بكتريا الكرش فى الحيوانات المجتررة وتقوم بهضم السيلولوز مما يمكن الحيوانات من الاستفادة من الأعشاب التى لا يمكن هضمها عن طريق القناة الهضمية. ٢- تقوم البكتيريا فى الأمعاء الغليظة فى الإنسان بتصنيع عديد من الفيتامينات التى تمكن من الأمعاء الغليظة ويستفيد منها الجسم (كما سبق ذكره فى باب الجهاز الهضمي). ٣- توجد بكتريا فى التربة تقوم بتثبيت أزوت التربة وأنواع أخرى من البكتيريا تقوم بتحليل المادة العضوية بالتربة. ٤- تستخدم البكتيريا فى إنتاج عديد من الهرمونات عن طريق الهندسة الوراثية. ٥- بعض أنواع البكتيريا تقوم بتحليل البترول الذى يراق على الأرض أو الماء بطريق الخطأ مما يمنع تلوث البيئة.

خطوط الدفاع عن الجسم The Lines Of Defense : هناك ثلاثة خطوط دفاعية تتمر معظم الميكروبات (الكائنات الدقيقة) التى تدخل الجسم وهى :

١- **خط الدفاع الأول The First Line Of Defense :** خط الدفاع الأول يوجد فى عدة صور فى جسم الإنسان أو الحيوان هى :

أ- **جلد الإنسان أو الحيوان :** وهو يعتبر خط دفاعى أول للجسم حيث يصد عديد من الميكروبات حيث يتكون الجلد من طبقة سميكة خارجية هى البشرة Epidermis وهى تتكون من عدة طبقات من الخلايا التى تتضاعف إلى أعلا حيث تصبح الطبقة السطحية حشرقية وخلاياها مندمجة مع بعضها

ومتعلقة بإحكام وحدث لها عمليتي موت وتصلب أى أنها أصبحت خلايا صلبة ميتة وبالتالي فهي لا تسمح بمرور الماء كما أنها تحمى الأنسجة الداخلية من الغزو الميكروبي (راجع النسيج الطلائي الحرشى - باب الأنسجة).

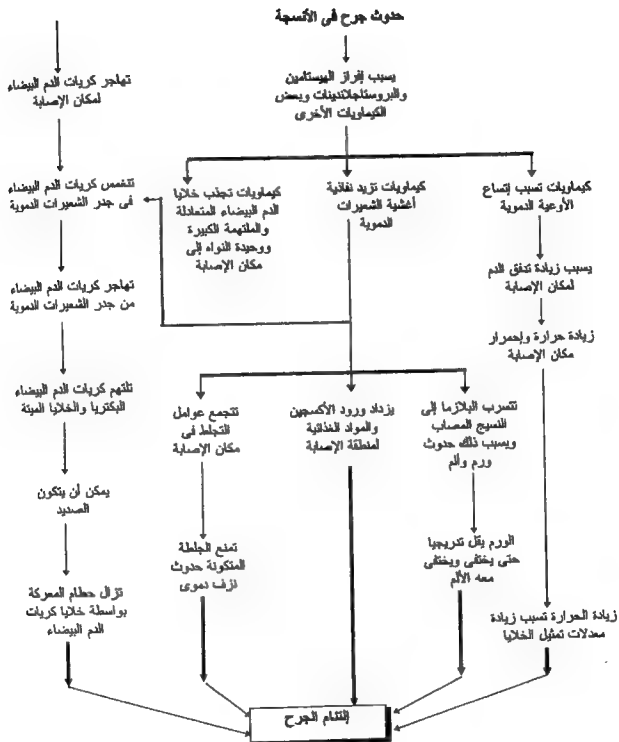
ب- كما ذكرنا من قبل فالنسيج الطلائي يبطن قنوات ويغشى أسطح وذلك تعتبر الخلايا الطلائية المبطن للقناة التنفسية والبولية والهضمية خط دفاع أول لهذه الأجهزة مثل الجلد تماما حيث تمنع البكتريا من الدخول للأنسجة التي تليها وعند حدوث تمزق في هذه الطبقات تستطيع البكتريا غزو الجسم فعند حدوث جرح في الخلايا المبطن للقناة الهضمية تتكون الجيوب الملتهبة Diverticulitis وانتشار العدوى إلى الدم أو إلى تجويف البطن.

ج- المرق وعدد من المواد الكيميائية تعتبر خط دفاع أول أيضا فالمرق عبارة عن إفرز حامضى يوقف نمو البكتريا على سطح الجلد.

وحامض يد كل HCl المفرز في المعدة يقتل الكثير من البكتريا. كما يحتوي للعاب والدموع على إنزيمات هادمة تذيب البكتريا وتقتلها وهناك أيضا دور المخاط والأهداب المبطن للجهاز التنفسي والذي سبق ذكره (راجع الجهاز التنفسي).

٢- خط الدفاع الثاني The Second Line Of Defense : إذا حدث وإخترقت البكتريا أو الفيروسات خط الدفاع الأول نتيجة لأى خلل ما مثل حدوث جروح وما إلى ذلك مثل ضعف الأغشية المخاطية ففي هذه الحالة يتعامل خط الدفاع الثاني مع الفيروسات أو البكتريا أو غيرها من الكائنات الدقيقة. وخط الدفاع الثاني هذا يشمل :

أ- الإستجابة للإلتهاب Inflammatory Response (شكل ١٧-٣) الإلتهاب يعتبر إستجابة دفاعية وهذه الإستجابة تتميز بارتفاع درجة حرارة وتورم وألم في الجزء المصاب. فعند حدوث جرح في الأنسجة تدخل البكتريا من خلاله. وغالبا تقوم الخلايا الكبيرة الملتهمة وخلايا الدم البيضاء للمعادلة بتدمير هذه البكتريا كما يفرز النسيج المصاب مادة كيميائية هي الهستامين Histamine تعمل على توسيع الشرايين مما يسبب زيادة توارد الدم إلى الجزء المصاب وإحمراره وارتفاع حرارته. كل هذه الإستجابات ترفع معدل الايض الغذائي في المنطقة المصابة مما يسرع بالانتام الجرح. وتفرز الأنسجة أيضا كمواد أخرى تزيد من نفاذية الشعيرات الدموية لذا يزداد إنتشار البلازما إلى مكان الإصابة ويوجد بهذه البلازما عوامل للتجلط التي تسبب تكوين شبكة من بروتين الفيبرين Fibrin network. والوسائل المتركمة في النسيج المصاب تسبب تورمه وبالتالي هذا الورم ينشط مستقبلات الألم التي ترسل نبضات عصبية إلى المخ كما أن الألم يحدث كنتيجة للسموم التي تفرزها البكتريا الغازية وبعض للكيمويات المفرزة من الأنسجة المصابة كالبروستاجلاندينات. ويجدر الإشارة هنا أنه في بعض الحالات



شكل (١٧-٧) : ديجرام يوضح الاستجابة للإصابة وإلتئام الجرح

يُبطئ الأسبرين إنتاج هذه الكيماويات من الأنسجة وبالتالي يخفف الألم. وفي هذه الحالة لا ينصح بأخذ كميات كثيرة من المسكنات حتى يمكن للجسم من مقاومة الميكروب حيث علمنا أن هذه المثبطات (الكيماويات) تثبط إنتاج المكونات اللازمة لمقاومة الميكروب وعلى الرغم من أن هذه السوائل التي تتركز في الأنسجة المصابة تسبب الألم إلا أنها لها فوائد كثيرة منها أنها توفر الأكسجين والعناصر الغذائية للخلايا التي تدافع عن الجسم وأيضاً للخلايا التي تعود بناء الجزء المصاب، كما أن هذه السوائل تخفف السموم البكتيرية والمواد الضارة الأخرى في منطقة الإصابة، بالإضافة إلى ذلك فهذا الورم يجمد الحركة فإذا كانت الإصابة في مفصل مثلاً فهذا الورم يوقف المفصل عن الحركة مما يعطي فرصة للنسيج لإصلاح نفسه.

الاستجابة للإتهاب تحدث تقريباً في كل الأنسجة التي تهاجمها الفيروسات والبكتريا وهذه الاستجابة تشمل زيادة تولد الدم وتركز السوائل وزيادة تولد خلايا الدم البيضاء إلى مكان الإصابة كما أن خط الدفاع الثاني هذا يملك فريق لإزالة بقايا المعركة إلا وهي الخلايا وحيدة النواة Monocytes (كما تم ذكره من قبل) (شكل ١٧-٣).

ب- خط الدفاع الثاني يشمل حماية عن طريق ثلاثة كيماويات إضافية :

The Second Line Of Defense Consists Of Three Additional Chemicals :

الاستجابة للإتهاب هي عبارة عن حرب كيميائية وبيولوجية يشنها الجسم حتى يتمكن من هزيمة البكتريا والفيروسات التي تغزو الجسم كما يشمل خط الدفاعي الثاني على ثلاثة مواد كيميائية إضافية هي :

١- الكيماويات المولدة للحمى Pyrogens وهذه تغزو من الخلايا الملتهمة الكبيرة التي هاجمت البكتريا وغيرها من الفيروسات وتصل هذه المواد إلى منطقة تحت المهاد (الهيبوثالامات Hypothalamus) وهي المنطقة المسؤولة عن تنظيم درجة حرارة الجسم والحمى البسيطة أو المتوسطة الناتجة عن ذلك تجعل الطحال والكبد يزيل الحديد من الدم فيقتل مستواه في الدم ونظراً لإحتياج أنواع عديدة من البكتريا المرضية إلى الحديد لكي تتكاثر لذا يقل تكاثر البكتريا ويتمكن الجسم من التغلب عليها كما أن ارتفاع درجة حرارة الجسم يؤدي إلى رفع معدل الأيض (المتابولزم) في الجسم وهذا يسهل شفاء الفرد كما يسهل وينشط بعض آليات الدفاع الخلوي كعملية الإتهام Phagocytosis للميكروبات لكن أيضاً فالحمى تضعف الجسم وقد تشكل خطورة على حياة الفرد عندما ترتفع درجة حرارة جسم الإنسان إلى أكثر من أربعين درجة مئوية (٤٠°م).

٢- الخلايا المصابة بالفيروسات تقوم بإفراز مجموعات من مركبات بروتينية صغيرة الحجم تساعد في حماية الجسم وتسمى هذه بالإنترفيرونات Interferons حيث ينتج كل نوع من خلايا

الجسم نوع مختلف من هذه المواد [Interferons] المفرزة من الخلايا المصابة وهذه الإنترفيرونات ترتبط مع مستقبلات على أسطح الخلايا الغير مصابة - هذا الارتباط ينشط تملبب انزيمات فى هذه الخلايا. هذه الانزيمات المصنعة من الخلايا الغير مصابة يمكنها تقطيع وهدم الـ mRNA الفيروسى مما يمنع تخليق البروتين الفيروسى (لاحظ أن البروتين الفيروسى يتكون عن طريق الشفرة الوراثية والتي يتوسطها mRNA).

وهذه الإنزيمات المنتجة لانتشط إلا بعد مهاجمة الفيروس لهذه الخلايا الغير مصابة مما يمنع إنتشار الفيروسات ولكنها لاستطيع حماية للخلايا المصابة. وهناك آليه أخرى هى أن خلايا الجسم المصابة بعد موتها تقوم بإفراز محتوياتها من الإنزيمات لتحسمى خلايا الجسم الأخرى.

ووظائف الإنترفيرونات يمكن تلخيصها فيما يلى : ١- تحسمى خلايا الجسم من إنتشار الفيروسات إليها عن طريق هدمها لكـ mRNA الفيروسى مما يمنع تجمع البروتين الفيروسى. ٢- تسبب زيادة النشاط الإتهامى للخلايا الكبيرة الملتهمه. ٣- تسبب زيادة نشاط تكوين الأجسام المضادة. ٤- تقوم بتثبيط خلايا T- التى تعطى الجسم المناعة الخلوية. ٥- Cytotoxic T- cells تقال (تثبط) أو توقف نمو الأورام.

٣- خط الدفاع الثالث هو الجهاز المناعى : The Immune System

تعرضنا من قبل لعدد من الأجهزة مثل الجهاز الهضمى والتنفسى والدورى... ألخ وجميع هذه الأجهزة أجهزة محددة، فالأعضاء المكونة لهذه الأجهزة تمتد مع بعضها لتكون جهاز عضوى Organ system. لكن الأمر يختلف هنا بالنسبة للجهاز المناعى، فالجهاز المناعى ليس جهاز أعضاء ولكنه جهاز وظيفى يتكون من بلايين عديدة من الخلايا الليمفاوية والتي توجد فى الأعضاء الليمفاوية مثل الطحال والغدة التيموسية والمعد الليمفاوية واللوز. وهذه الخلايا تقاوم الأجسام الغريبة التى تهاجم جسم الإنسان أو الحيوان وبالتالي فالجهاز المناعى يعتبر لليه هامة من آليات الإتزان الداخلى Homeostatic mechanisms فى الجسم حيث يقاوم ويفتك الأجسام الغريبة والميكروبات التى أستطاعت أن تخترق خط الدفاع الأول ولتلقى بالجسم.

وبالتالى فالجهاز المناعى وظيفة رئيسية ألا وهى للتعرف على ما هو غريب عن الجسم ورغم أن هذه العملية صعبة إلا أنها فى غاية الأهمية. وبعد أن يتعرف الجهاز المناعى على هذه المادة الغريبة يشن هجوما عليها ليقتضى عليها ومثل كل أجهزة للتوازن الداخلى فإن هذا الأمر يتطلب أولا : إكتشاف هذه المادة الغريبة وللتعرف عليها عن طريق الجهاز المناعى. وثانياً: تنفيذ مهاجمة هذه المادة عن طريق المستقبلات والأعضاء المستجيبة. وفى الجهاز المناعى تقوم الخلايا الليمفاوية بكلا من الوظائفيتين.

وبالنسبة للأمر الأول فالسؤال الآن هو كيف يتعرف الجهاز المناعي على الميكروبات والمواد الغريبة التي تدخل للجسم. والإجابة هنا أن الجهاز المناعي يتم تنشيطه بواسطة الجزيئات الكبيرة مثل البروتينات والسكريات العديدة المولدة للأجسام المضادة والتي تسمى أنتيجينات **Antigens** (Antibody generating substances) وعموماً لا تحفز الجزيئات الصغيرة الإستجابة المناعية. وكل الأنتيجينات تعتبر أجسام غريبة موجودة بالجسم. وكلما كبر حجم الجزيء تزداد مقدرة الجهاز المناعي على توليد الأجسام المضادة. أما بالنسبة للجزيئات الصغيرة والخير مولدة للأجسام المضادة فهي قد ترتبط مع بروتينات توجد طبيعياً في الجسم لتكون معقدات قد تسبب إستجابة مناعية ومن أمثلة ذلك البنيولين وسم اللبلاب Ivy toxin. وبالنسبة للفيروسات والبكتيريا والطفيليات فهي تسبب إستجابة مناعية لأنها محاطة بغشاء بروتيني أو سكريات عديدة ذات وزن جزيئي كبير. كما تؤدي الخلايا المنقولة من شخص إلى آخر إلى إستجابة مناعية أيضاً كما تحتوي الخلايا السرطانية على بصمات كيميائية مختلفة بالرغم من أنها تتشأ من خلايا الفرد نفسه لذا فهي تحفز الجهاز المناعي. أما بالنسبة للأنتيجينات **Antigens** فهي تنشط نمو وتكاثر وتميز نوعين من الخلايا الليمفاوية هما :

١- النوع الأول الخلايا الليمفاوية T- (T-cells or T- lymphocytes)

٢- النوع الثاني الخلايا الليمفاوية B- (B-cells or B- lymphocytes)

ولذلك فإن التفاعل المناعي ما هو إلا عبارة عن إستجابة خلايا T. وخلايا B وخلايا T يختلفان في هذه الإستجابة الصغيرة الحرة مثل البكتيريا والسموم البكتيرية وعدد قليل من الفيروسات وعند تنشيط خلايا B هذه فإنها تنتج أجسام مضادة لهذه الأنتيجينات. أما بالنسبة لخلايا T- فإنها تتعرف وتستجيب للخلايا الغير طبيعية في الجسم مثل الخلايا السرطانية أو الخلايا التي غزتها الفيروسات والخلايا المنقولة والطفريات الوحيدة الخلية والطفريات. وخلايا T- على العكس من خلايا B- تهاجم مباشرة الأجسام الهدف.

خلايا B وخلايا T الغير ناضجة ليست لها المقدرة على الإستجابة للأنتيجينات الخاصة ولكنها تكتسب القدرة على الإستجابة بعد فترة: إنتاج الخلايا الليمفاوية يتم في نخاع العظام الأحمر حيث يفرز إلى الدم وتور هذه الخلايا الغير كاملة النضج خلال الدم والليف وهذه الخلايا عبارة عن خلايا ليمفاوية مستقرة بالغة التيموسية Thymus gland والتي إشتق منها اسم هذه الخلايا والغدة التيموسية عبارة عن غدة ليمفاوية تقع أعلا القلب وأثناء التطور والنمو الجنيني لهذه الغدة يكتمل نضج خلاياها الليمفاوية بداخل الغدة نفسها ويستغرق هذا النضج ٢-٣ أيام. هذا النضج يكسب هذه الخلايا القدرة على الإستجابة للأنتيجينات الخاصة. حيث يتم في هذا النضج برمجة هذه الخلايا برمجة مسبقة على الإستجابة للأنتيجينات الخاصة خلال تطورها الجنيني (أي قبل أن تواجه الأنتيجينات بفترة طويلة)

حيث تنتج كل خلية أثناء عملية التضع نوعاً خاصاً من المستقبلات بغشائها النووي هذه المستقبلات يمكنها أن ترتبط مع نوع واحد من الأنتيجينات. وهذه المستقبلات تكون مختلفة وهذا مفيد لأن الفرد يواجه ملايين الأنتيجينات خلال حياته لذا فإن جسم الإنسان أو الحيوان يكون مجهز بملايين أو أكثر من خلايا T- المختلفة والتي سبق برمجتها. وخلايا T- تتناسخ خضرياً Clone حيث تنتج كل خلية T- مجموعة خلايا مطابقة لخلاية T الأصلية والتي تستجيب لنوع واحد من الأنتيجينات وبالرغم من أن الجسم لا يحتاج إلى كل هذا العدد الهائل من هذه النسخ إلا أنها تشكل احتياطي من الخلايا في حالة احتياج الجسم لها.

وكثيراً من خلايا T- تترك الغدة التيموسية بعد إكمال نضجها لتستقر في أعضاء أخرى خصوصاً العقد الليمفاوية والطحال والكبد كما يدور الكثير منها في الدورة الدموية. وبعد دخول الأنتيجين أو الجسم الغريب إلى الجسم فإنه في هذه الحالة ينشط قسط الخلايا السابق برمجتها لهذا النوع من الأنتيجينات حيث تستجيب له وترتبطه.

خلايا B- هذه الخلايا تكتسب القابلية أو القدرة على الإستجابة للأنتيجينات الخاصة بداخل نخاع العظام وليس بالغدة التيموسية لتصبح في هذه الحالة جزء من الإحتياطي للخلوى بالجسم. وخلايا B- هذه تدور في الدم لتستقر في الأنسجة الضامة والأعضاء الليمفاوية. ويقدر عدد خلايا B وخلايا T (كما ذكرنا من قبل أنهم مختلفين مناعياً) في بداية حياة الفرد بالملايين وطوال حياة الفرد لا يستخدم إلا جزء قليل بالنسبة لعدد هذه الخلايا.

خلايا B تضيف مناعة للدم عن طريق إنتاجها للجسام المضادة B- cells Provide Humoral Immunity Through The Production Of Antibodies : إستجابة الجسم المناعية تنشأ أو تحدث كنتيجة لتفاعل منفصلين عن بعضهما لكنهما مرتبطون أو مكملين لبعضهما وظنانيا فالمناعة في الدم تأتي عن طريق خلايا B- ومناعة الأنسجة تأتي عن طريق خلايا T-

أولاً : المناعة في الدم Humoral Immunity : يرتبط الأنتيجين بعد دخوله الجسم مع خلايا B السابق برمجتها بنخاع العظام - بعد هذا الارتباط تبدأ خلايا B في الإنقسام لتكون خلايا إضافية ويحدث تميز أو تشكل لبعض خلايا B لتصبح خلايا بلازمية Plasma cells بها شبكة إندوبلازمية خشنة RER واضحة تقوم بتصنيع الأجسام المضادة. ثم يتم إفراز هذه الأجسام المضادة من الخلايا البلازمية إلى الدم والليمف حيث تكور بهما إلى أن تقابل النوع من الأنتيجينات الحرة الذي يحفز إستجابتها فتترتبط به.

التفاعل الأولي ضد الأنتيجين يكون بطيء وضعيف عنه في الإستجابات التالية : The

Initial Reaction To An Antigen Is Slower And Weaker Than Subsequent

Responses : الأنتيجين الداخل للجسم لأول مرة يُحفز حدوث إستجابة مناعية. والإستجابة الأولية

تكون بطيئة وضعيفة نسبيا حيث لا تبدأ تركيزات الأجسام المضادة في الارتفاع إلا بعد بداية الأسبوع الثاني تقريبا من إكتشاف الأنتيجين للدخول. والسبب في هذا التباطؤ هو أن خلايا B تحتاج لوقت حتى تتكاثر لكي تكون أعداد كافية من الخلايا البلازمية. هذا وتصل مستويات الأجسام المضادة في الدم لأقصاها عد نهاية الأسبوع الثاني تقريبا ثم تنخفض في الأسابيع الثلاثة التالية. كل هذا يفسر لنا لماذا يحتاج الناس من ٧-١٠ أيام لكي يتغلبوا على فيروس البرد والإنفلونزا.

وعندما يدخل الأنتيجين الجسم مرة ثانية يستجيب الجهاز المناعي بسرعة أو بدرجة أكبر وهذا يسمى بالإستجابة الثانوية. وفي هذه الحالة يرتفع تركيز الأجسام المضادة بالجسم بدرجة كبيرة بعدَ أيام من دخول الأنتيجين إلى الجسم، لذا يتم تكميره بسرعة مما يمنع تكرار حدوث المرض والسبب في الإستجابة الثانوية الأكثر سرعة هو خلايا الذاكرة Memory cells التي تم إنتاجها خلال الإستجابة الأولية. وخلايا الذاكرة هذه تتكون نتيجة لتقسام خلايا B مكونة عدد كبير من خلايا B الليمفاوية الخاصة بهذا الجسم الغريب (الأنتيجين). كما تشكل الخلايا الناتجة من الإقسام مكونة خلايا بلازمية عديدة تتميز بالسرعة في إنتاج الأجسام المضادة لهذا الأنتيجين.

ملحوظة : الحماية المناعية تبقى في الجسم لمدة عشرين عاما أو أكثر وهذا يفسر لنا عدم إصابة الأفراد ببعض الأمراض التي أصابتهم خلال مرحلة الطفولة كإلتهاب الفدة الكفية أو الجدري.

الأجسام المضادة تعمل في أربع اتجاهات لتدمير الأنتيجين : Antibodies Act In Four

Ways To Destroy Antigens : الأجسام المضادة تتبع مجموعة من بروتينات الدم هي

الجلوبيولينات Globulins ولذا تسمى الجلوبيولينات المناعية (Ig) Immunoglobulins ويتكون كل

جسم مضاد من أربع سلاسل ببتيدية (شكل ٧-١٢) البواب (الساج) ترتبط مع بعضها بروابط ثنائية

الكبريت Disulfide bonds منها سلسلتين صغيرتين تتجدد مع السلسلتين الكبيرتين لتكون جزيئا على

شكل حرف Y ولماكن ارتباط الأنتيجينات توجد في أزرع ال-Y وهي تسمى بالمستقبلات التي تغطي

الأجسام المضادة صفة للتخصصية Specificity هذا وتوجد ٥ مجاميع مختلفة من الأجسام المضادة

يختلف كلا منها عن الآخر إختلافا بسيطا وهي IgE & IgA & IgG & IgM & IgD وتدمر هذه

الأجسام المضادة الأنتيجينات عن طريق أربع آليات هي :

١- **التحييد (المعادلة) Neutralization** :حيث ترتبط الأجسام المضادة مع الفيروسات بحيث

تحيط بالفيروس تماما فتمنعه من الارتباط مع مستقبلات أغشية الخلايا وبذا يتم منع الفيروس من دخول

الخلية وصليية التحديد هذه تساعد أيضا في تدمير السموم البكتيرية حيث تحيط الأجسام المضادة تماما بالبروتين السام فيصبح غير فعال. وبعد ذلك تقوم الخلايا الكبيرة الملتزمة بابتلاع السموم والفيروسات التي تم تحييدها.

٢- التجمع **Agglutination** : وفي هذا يتم تجميع الأنتيجينات ومعها الأجسام المضادة فسي شكل كتلة. وإذا يتم وقف نشاط الأنتيجينات ويحدث ذلك في حالة مقدرة الجسم المضاد على ربط أكثر من أنتيجين واحد فمثلا يستطيع جزئ واحد من الجسم المضاد IgM من الارتباط مع عشرة لنتيجينات مما يجعلها تتكتل مع بعضها بعد ذلك تزال الأنتيجينات الممتجة في الدم وموائل الجسم بواسطة الخلايا الملتزمة.

٣- الترسيب **Precipitation** : وفيها تقوم الأجسام المضادة بتحويل الأنتيجينات الذائبة كالبروتيونات إلى صورة غير ذائبة مما يؤدي إلى ترسيبها ومن ثم إلتهاها.

٤- التنشيط للمكمل **Complement Activation** : وفيها تساعد الأجسام المضادة على تخلص الجسم من البكتيريا عن طريق تنشيط النظام المكمل. هذا النظام هو عبارة عن مجموعة من البروتينات التي تعمل كجزء من الإستجابة المناعية الغير متخصصة ضد الأنتيجينات ويتم تنشيط النظام المكمل عن طريق معقد الأنتيجين والجسم المضاد **Asntigen - Antibody complex** (أي ارتباطها معا). هذا التنشيط يؤدي إلى إنتاج للنظام المكمل للمركب المهاجم الغشاء **Membrane - attach complex** الذي ينفذ في غشاء البكتيريا البلازما فترسب محتوياتها وفي النهاية تتضخم وتنفجر. كما أن بعض البروتينات في هذا النظام تقوم بتنشيط الإستجابة للإلتهاب وبعضها الآخر يحيط بالميكروبات مما يسهل إلتهاها بواسطة الخلايا الكبيرة الملتزمة.

الخلية الكبيرة الملتزمة تلعب الدور الرئيسي في التدمير الجسمي لتنشيط خلايا **B** :
Macrophages In The Bodies Tissues Play A Key Role In Activating B Cells
توجد الخلايا الكبيرة الملتزمة في الأنسجة الضامة والليمفاوية والأعضاء وهي تنشأ من خلايا الدم البيضاء وحيدة اللو **Monocytes** وتلعب دورا هاما في الإستجابة المناعية وذلك نظرا لأنها تلتهم البكتيريا والأنتيجينات الأخرى بمكان الإصابة، كما تقوم بإلتهاهم معقدات الأنتيجين والأجسام المضادة **Antigen - Antibody Complex** كما تلعب دورا في تنشيط تشكل خلايا **T**- وخلايا **B**- حيث لا يمكن تشكل خلايا **B**- إلى خلايا بلازمية نتيجة للأجسام المضادة دون إشتراك الخلايا الكبيرة الملتزمة. هذا وتقوم الخلايا الكبيرة الملتزمة بإلتهاهم المواد الغريبة كالبكتيريا ومن ثم تنقل الأنتيجين الذي هو جزء من سطح الخلية البكتيرية إلى غشائها البلازما. بعد ذلك تتجمع الخلايا الكبيرة الملتزمة حول خلايا **B**-

وتعسوب الأنتيجين البكتيرى تحوما وهذا ينشط خلايا B- التى سبق برمجتها للإستجابة لهذا الإنتيجين، عندئذ تبدأ خلايا B- فى الإنقسام والتشكل إلى خلايا بلازمية منتجة للأجسام المضادة. كما تقوم الخلايا الكبيرة الملتزمة بإفراز مركب كيموى هو الإنترليوكين I (Interleukin-I) والذى يعمل كوسيط لإتصال خلايا الدم البيضاء مع بعضها. هذا المركب ينشط تكاثر وتشكل خلايا B- كما تقوم الخلايا الكبيرة الملتزمة بتصويب الأنتيجين نحو خلايا T- المساعدة فتشعلها لتكوين مادة كيموية ذات تأثيرين هما :

١- تنشيط تكاثر وتشكل خلايا B

٢- تنشيط إنتاج الأجسام المضادة من الخلايا البلازمية.

خلايا T- تتميز إلى أربع أنواع على الأكل كل نوع له وظيفة منفصلة فى المناعة الخلوية T- Cells Differentiate Into At Least Four Cell Types, Each With Separated Function In Cell Mediated Immunity : الحماية التى توفرها خلايا T- للجسم تكون أكثر تعقيدا. وخلايا T- تماثل خلايا B- فى أنها تستجيب بالتكاثر السريع ، وتشكل هذه الخلايا إلى أربعة أنواع على الأكل هي :

النوع الأول : خلايا الذاكرة Memory cells : وهذه تلعب دورا حاسما فى الإستجابة الثانوية.

النوع الثانى : خلايا T- السامة أو القاتلة للخلايا Cytotoxic T cells : هذه الخلايا متعددة الوظائف، حيث يقوم بعضها بمهاجمة وقتل خلايا الجسم المصابة بالفيروسات. قد يفرز فيروس خلية فى الجسم حيث تندمج أنتيجينات غلاف الفيروس فى الغشاء البلازى لخلية العائل (كما ذكرنا من قبل) لذا ترتبط خلايا T- القاتلة مع هذا الأنتيجين لتكسر خلية العائل - كما تهاجم خلايا T القاتلة البكتريا والطفيليات والفطريات وحيدة الخلية والخلايا السرطانية وتقتلها. حيث ترتبط خلايا T القاتلة مع جزيئات الأنتيجين بأغشية هذه الخلايا وتقوم بإفراز البرفورين I (Perforin-I) ، الذى يندمج فى الغشاء البلازى لخلية الهدف مؤديا إلى تجمعها وتكوين ثقب فى الغشاء البلازى مشابه لتلك التى ينتجها المركب المهاجم للغشاء فى الجهاز المكمل. هذه الثقوب تجعل الغشاء البلازى مُرَب مُتَمَرَة الخلية الهدف خلال ساعات قليلة. عندئذ تفصل خلايا T- القاتلة لتقاوم لتوتيجينات أخرى.

النوع الثالث خلايا T- المساعدة Helper-T-Cells : وهى أكثر خلايا T- كثافة وهى تمثل ٦٠- ٧٠% من عدد خلايا T الكلى. ويتم تنشيط هذه الخلايا نتيجة لوجود الأنتيجين وهى تعتبر المفتاح الرئيسى للجهاز المناعى فيدون هذا النوع من الخلايا يثل إنتاج الأجسام المضادة كما يثل نشاط خلايا T

إلى حد كبير قد يؤدي إلى غياب الإستجابة المناعية تقريباً. ففي غياب هذه الخلايا قد ينشط الأنتيجين خلايا B- وخلايا T- قليلاً ثم يتوقف التنشيط.

ويجدر الإشارة هنا أن فيروس الأيدز يفضل إصابة خلايا T- المساعدة لذلك لا يتمكن المصابون بهذا المرض من شن إستجابة مناعية فعالة وغالباً ما يموتون نتيجة لإصابات بكتيرية أو سرطانية.

النوع الرابع خلايا T- المثبطة **Suppressor T-cells** : دور هذه الخلايا ليس معروف تماماً ولكن هناك دلائل على أنها تعمل على إيقاف الإستجابة أو التفاعلات المناعية بعد إختفاء الأنتيجين (الجسم الغريب الذي دخل الجسم) أي أن هذه الخلايا تنشط بعد إنتهاء عمل الجهاز المناعي حيث تتركز كيمائيات مثبطة لإقسام كلا من خلايا B- وخلايا T-.

نوعى المناعة: المناعة النشطة والمناعة السلبية : **Types Of Immunity; Active**

And Passive : من أهم الإنجازات الطبية في القرن الماضي هو إكتشاف اللقاحات **Vaccines** وهذه اللقاحات عبارة عن فيروسات أو بكتيريا معدومة الفاعلية أو ذات فاعلية محدودة. (أي ضعيفة أو مضطعة جداً) وهذه تسبب إستجابة مناعية بعد حقنها في الجسم وبعض هذه اللقاحات تعطى الجسم مناعة لمدة طويلة قد تصل لطول عمر الفرد ولكن بعضها يعطى الجسم مناعة لفترة قصيرة فقط. واللقاحات تنشط الإستجابات أو التفاعلات المناعية نظراً لإحتوائها على كائنات معدومة الفاعلية أو ذات فاعلية محدودة كما أن بها أنتيجينات بروتينية أو كربوهيدراتية لا تكفى لكى تسبب الإصابة بالمرض.

والمناعة الناشئة عن التحصين باللقاحات النشطة **Active immunity** تؤدي إلى تنشيط إنتاج خلايا الذاكرة وخلايا B- التي تحمي الفرد ضد الغزو المستقبلي للبكتيريا والفيروسات. ويدهى أيضاً أن الإصابة بالبكتيريا أو الفيروسات الطبيعية يؤدي إلى مناعة نشطة **Active immunity**.

أما بالنسبة للمناعة السلبية **Passive Immunity** : فتحدث نتيجة لحقن الجلوبولينات المناعية والتي تعتبر بمثابة أجسام مضادة لأنتيجينات معينة مما يوفر حماية مؤقتة للجسم ربما لبضعة أسابيع حيث يقوم الكبد بإزالة هذه الجلوبولينات المناعية من الجسم ببطء. وتشتمل الجلوبولينات المناعية لمعالجة الأشخاص المصابون بالفيروس المسبب لإلتهاب الكبد **Hepatitis** أو هؤلاء الأشخاص الذين لدغتهم حيات أو ثعابين سامة. والمناعة السلبية قد تحدث طبيعياً كما يحدث عند حصول الجنين على أجسام مضادة من دم الأم عبر أغشية المشيمة، حيث تقوم بحماية المولود من البكتيريا والفيروسات لمدة شهور، كما ينتقل جزء كبير من الأجسام المضادة أيضاً عن طريق لبن

الرضاعة من الأم إلى المولود خصوصاً في الثلاثة أيام الأولى من عمر المولود ويسمى لبن الأم في هذه الحالة باللبأ Colostrum ويسميه البعض أيضاً السرسوب.

الفوائد المناعية والتغذية للبن الذي Immunological and Nutritional Benefits of Breast Milk : الطفل حديث الولادة يواجه عالم خطير جداً مليء بالبكتيريا والفيروسات بالإضافة إلى ذلك فإنه لم يتم حدوث تطور كامل لجهازه المناعي مما يجعله أكثر عرضة للإصابة بالأمراض. لكن وفر الله سبحانه وتعالى حماية لهذا الطفل عن طريق الأجسام المضادة التي تنتقل إليه من الأم عن طريق الدم عبر أغشية المشيمة في المراحل الجنينية كما رزقه الله سبحانه وتعالى بهذه الأجسام المضادة عن طريق ثدي الأم.

ولبن ثدي الأم يحتوي على كثير من الجلوبيولينات المناعية التي منها IgA (Secretory IgA) الذي يرتفع تركيزه في اللبأ (أو السرسوب Colostrum) في الثلاثة أيام الأولى حيث يفرز من الثدي عقب الولادة مباشرة وقبل أن يبدأ الثدي في إنتاج اللبن بهذله. ويصل هذا اللبأ على تغطية الطبقة الداخلية للأمعاء كما تعمل الأجسام المضادة به من نوع IgA على منع البكتيريا التي يلتصقها الوليد من أن تلتصق بالطبقة المخاطية بالأمعاء وبالتالي لا يحدث دخولها إلى الدم. كما يحتوي اللبأ أيضاً على إنزيم الليسوزيم Lysozyme الذي يكسر جدر خلايا البكتيريا ويدمرها.

ملحوظة : بعض الباحثين في الماضي ومنهم الأطباء كانوا يعتقدون أو يدعون أن لبن الثدي به نسبة منخفضة من الحديد، وإذا يلزم إعطاء الطفل مصادر غذائية بها حديد ولقد ثبت الآن أن لبن الثدي به حديد ينطى إحتياجات الطفل وأن زيادة تركيز الحديد في دم المواليد عن طريق إعطائهم مواد غذائية بها حديد يزيد من نسبة إصابتهم بالبكتيريا الضارة وذلك نظراً لأن نقص الحديد يقلل من تكاثر البكتيريا في أمعاء الطفل الرضيع مما يؤدي إلى حمايته. ولقد ثبت بما لا يدعى مجالاً للشك أن الأطفال الذين يرضعون لبن الثدي أحسن في الحالة الصحية من هؤلاء الأطفال الذين يرضعون اللبن الصناعي. حيث تنخفض فيهم إلتهابات الأمعاء وإصابة الأذن وأمراض الأجزاء العليا من الجهاز التنفسي كما تنخفض نسبة إصابتهم بسرطان الغدد الليمفاوي الذي يحدث في سن الطفولة.

هذا وتشير الأبحاث إلى وجود بروتينات معينة في لبن الأم تنشط تطور الجهاز المناعي للمولود. كذلك تنشط هذه البروتينات الذاتية للخلايا الكبيرة الملتصمة التي لها دوراً رئيسياً في الجهاز المناعي. بالإضافة إلى ذلك يجب ألا ننسى أن لبن الأم يسهل هضمه وإمتصاصه من الأمعاء مقارنة باللبن الصناعي. كما أن نسب مكونات هذا اللبن متزامنة في التوقيت مع إحتياجات الطفل ومقدرة أمعائه على الإمتصاص (راجع باب التغذية حيث قدرة أمعاء الطفل على إمتصاص الجزيئات الكبيرة وما إلى ذلك).

هناك إضافة أخرى وهى الوضع الهندسى للمولود حينما يرضع أمه فتكون أمه ملتصقة لصدرها وبالتالي يسمح ضربهات قلمها التى تُتَوَد عليها أثناء فترة الحمل مما يعطى لهذا المولود الطمانينة والهدوء أثناء عملية الرضاعة. كما يستند البعض أن هذا الوضع يكسبه جهازاً عصبياً مركزياً سليماً.

التطبيقات العملية - نقل الدم وغرس الأنسجة

Practical Applications - Blood Transfusions

And Tissue Transplantations

حماية الجسم من الميكروبات يقوم بها أساساً الجهاز المناعى لكن هذا الجهاز يسبب مشاكل كثيرة أثناء عمليات نقل الدم أو أثناء غرس الأنسجة.

١- عمليات نقل الدم **Blood Transfusions** : يحتوى مسطح خلايا الدم الحمراء على أنتيجينات معينة موروثية تحدد مجاميع الدم التى تكون نظام يسمى نظام ABO (راجع مجموعات الدم فى الإنسان وجدول (٧-١) بالباب السابع).

وعند خلط مجاميع دم متعارضة تحدث مشاكل. فعند إعطاء دم من فرد مجموعة دمه B إلى فرد مجموعة دمه A تتجمع Agglutinate أو تحلل Hemolyze كرات دمه. يحدث ذلك بسبب احتواء دم الشخص المستقبل (دمه مجموعة A على أجسام مضادة للأنتيجين B) وتحلل خلايا الدم نتيجة نقل الدم يسمى بتفاعل نقل الدم Transfusion reaction.

وتجمع كرات الدم الحمراء هذا يسبب سد الشعيرات الدموية وبالتالي تعيق تدفق الدم بها مما يؤدي إلى نقص وصول الأكسجين والعناصر الغذائية للخلايا والأنسجة.

وتحلل الدم الشديد يؤدي إلى تحرر هيموجلوبين الخلايا الحمراء إلى بلازما الدم حيث يترسب فى الكلى ويسد الأوربيب البولية الدقيقة مسبباً فى الغالب فشل كلوى حاد Acute kidney failure.

لذا يلزم تحليل الدم لضمان نجاح عمليات نقل الدم دون مشاكل. ويوضح من جدول ٧-١ بالباب السابع أن خلايا الدم للحمراء من أفراد مجموعة الدم O لا تحتوى على أى من أنتيجينات A أو B لذا فإنها تسبب أى تفاعل مناعى ويمكن إعطائها لأى شخص O & AB & B & A. لذا تسمى مجموعة الدم O بالواهب العام Universal Donor. لكن مجموعة الدم O رغم خلوها من الأنتيجينات إلا أنها تحتوى على أجسام مضادة لكل من الأنتيجينات A & B، لذا يستطيع أفرادها استقبال دم فقط من مجموعة الدم O، أما أفراد مجموعة الدم AB فتحوى كرات دمهم الحمراء على كلا من أنتيجينات A & B لكنها لا تحتوى على أى أجسام مضادة ذات علاقة بنظام ABO. لذا فإن أفرادها يستقبلون دم من

جميع المجاميع ويسمون مستقبل عام Universal recipients. أما الدم من أفراد مجموعة AB فيمكن نقله فقط إلى أفراد من مجموعة الدم AB.

وإصطلاحى الواهب العام والمستقبل العام ليست لإصطلاحات صحيحة تماما. لأن خلايا الدم الحمراء تحتوي أيضا على أنتيجينات أخرى تسبب تفاعلات نقل الدم أهمها عامل Rh (Rh factor) وهذا العامل اكتشف فى القرد من نوع Rhesus ومنها اشتق هذا الاسم.

والفرد الذى يحتوى خلايا دمه الحمراء على الأنتيجين Rh يعتبر Rh موجب، أما الفرد الذى لا يوجد عنده الأنتيجين Rh فيعتبر Rh سالب.

وفى نظام الـ Rh تنتج الأجسام المضادة فقط عند نقل دم Rh موجب إلى شخص دمه Rh سالب. وعند نقل دم Rh موجب إلى شخص دمه Rh سالب لأول مرة لا تحدث تفاعلات نقل الدم ولكن عند نقل الدم الموجب للمرة الثانية إلى شخص دمه سالب الـ Rh يحدث تفاعل نقل الدم.

لذا لكى نمنع تفاعل نقل الدم فإن الأشخاص الذين دمهم Rh سالب يجب إعطائهم فقط دم من أشخاص بهم Rh سالب. والموجب الـ Rh ينقل له دم Rh موجب.

ويصبح عامل الـ Rh دائما أثناء فترة الحمل حيث تحدث مشاكل عندما تحمل أم دمه Rh سالب جنينا دمه Rh موجب. حيث تدخل كميات قليلة من دم الجنين إلى الدورة الدموية للأم عند الولادة وتسبب تفاعل مناعى فتتكون أجسام مضادة لـ Rh فى دم الأم وتصبح أكثر حساسية للعامل Rh.

وإذا لم تعالج الأم وحملت مرة أخرى بطفل دمه Rh موجب، فإن الأجسام المضادة بدم الأم تخترق المشيمة وتدمر خلايا الدم الحمراء بدم الجنين مسببة أنيميا ونقص فى أكسجين أنسجة الجنين. وإذا لم يتم إسعاف المولود بنقل دم له (Rh سالب) مرة قبل الولادة وعدة مرات بعد الولادة فإنه قد يحدث ضرر بالمخ قد يؤدى إلى الوفاة.

ولمنع تكوين أجسام مضادة فى أم دمه Rh سالب ووزنت بالطفل دمهم Rh موجب، يقوم الطبيب بإعطائها أجسام مضادة للخلايا الحمراء للموجب الـ Rh بعد الولادة مباشرة. هذه الأجسام المضادة تقوم بتدمير الخلايا الحمراء الموجبة لـ Rh التى وصلت إلى الأم من الجنين وذلك قبل تحفيز الجهاز المناعى للأم. بهذه الطريقة لا تصبح الأم حساسة حيث لم يتم تنشيط خلايا B ولم تتكون خلايا للذاكرة ولكن لكى تصبح المعاملة فعالة يجب إجراءها بعد الولادة مباشرة.

٢- غرس الأنسجة Tissue Transplants : يستطيع الشخص إستقبال نسيج منقول له من

شخص آخر ولا يطرده الجسم فى حالتين فقط :

أ- إذا تم الحصول على النسيج من نفس الشخص، فأطباء جراحة التجميل ينقلون جلد سليم من أحد أجزاء الجسم الغير مرئية لتغطية المناطق التي أصابها الحرق بشده.

ب- في حالة غرس الأنسجة بين التوائم المتطابقة Identical twins (تتكون هذه التوائم من بويضة واحدة مخصبة انقسمت بعد ذلك إلى جنينين). وهذان التوأمين يكونان متطابقان وراثيا وبهما التجهيزات خلوية متطابقة.

لما في حالة نقل أعضاء مثل القلب والكبد والكلى من شخص إلى آخر فإن الطريقة الوحيدة لمنع طرد الجسم للمعضو الغريب المنقول إليه بواسطة خلايا T- هو إعطاء المريض عقاقير مثبطة للجهاز المناعي طوال فترة حياته. وأكثر هذه العقاقير فاعلية الآن هو عقار الميكولوسبورين Cyclosporin. ولكن هذه العقاقير تجعل المريض هدفا للهجوم البكتيري والفيروسى. ويعمل الميكولوسبورين عن طريق تثبيط تكوين الأنترايوكين γ -(Interleukin-2) بواسطة خلايا T المساعدة. وإذا نقصت المناعة الخلوية لدرجة كبيرة دون أى تأثير على خلايا B-.

أمراض الجهاز المناعي Diseases Of The Immune System : تعتبر الحساسية Allergies أكثر أمراض الجهاز المناعي شيوعاً، والحساسية عبارة عن حدوث إستجابة زائدة Overreaction لبعض الأنتيجينات كحبوب اللقاح Pollen أو الأغذية. (لاحظ أن الأنتيجينات المنشطة لتفاعلات الحساسية تسمى مثبرات الحساسية Ellergens وهى تسبب إنتاج الأجسام المضادة من نوع IgE بكميات كبيرة فى بعض الأشخاص).

وهذه الأجسام المضادة ترتبط مع خلايا تسمى Mast cells هذه الخلايا توجد فى العديد من الأنسجة خصوصاً الأنسجة الضامة المحيطة بالأوعية الدموية. هذه الخلايا تفرز على حبيبات كبيرة من الهيستامين Histamine.

ورابط الأنتيجينات المثيرة للحساسية مع الأجسام المضادة IgE المرتبطة مع خلايا Mast يحفز أو ينشط إفراز الهيستامين من هذه الخلايا. ويسبب الهيستامين إتساع الشريينات القريبة من مكان إفرازه كما يسبب زيادة توارد الدم. وزيادة توارد الدم هذه تؤدي إلى زيادة فى إنتاج القناة التنفسية المخاط مما يكمه حدوث تضخم Congestion. كما يسبب الهيستامين المفرز فى الرئتين إنقباض الشعبات الهوائية وبالتالي صعوبة مرور الهواء وضيق فى التنفس فيما يسمى بمرض الربو Asthma هذا وتحدث تفاعلات الحساسية عادة فى أنسجة معينة لتسبب أعراضاً موضعية فى هذه الأنسجة.

وهذه التفاعلات تكون مزعجة ومؤلمة ولكنها لا تهدد حياة الفرد. لكن قد تحدث تفاعلات الحساسية بالدم، فمثلا وجود البينولين أو سم النحل Bee Venom في دم بعض الأشخاص قد يسبب إفراز كميات هائلة من الهيستامين وكيماويات أخرى تسبب حدوث إسهال كبير في الأوعية الدموية بالجلد وغيره من الأعراض. هذا الإسهال يؤدي إلى انخفاض شديد في ضغط الدم قد يسبب توقف الجهاز الدوري. كذلك تسبب هذه الكيماويات انقباض الألياف الهوائية Air ducts في الرئتين بشده وضيق في التنفس. ويعاني المريض من صدمة نتيجة لهذه الحساسية المفردة Anaphylactic shock وقد تحدث الوفاة إذا لم يتم علاج هذا الإختلال. هذا وقد يفقد حقن المريض بهرمون الإبينفرين Epinephrine في علاج مثل هذه الأعراض.

مرض قاهرة نقص المناعة المكتسبة (الأيدز) AIDS

الفيروس القاتل The Deadly Virus : (يكتشف مرض الإيدز في نهاية السبعينات ويسمى ظاهرة نقص المناعة المكتسبة Acquired Immune Deficiency Syndrome (AIDS) ولقد شبه بمرض الطاعون الذي ينتشر في أوروبا في القرنين الرابع عشر والخامس عشر والذي قتل ربع سكانها البالغين وكثير من الأطفال.

وفي عام ١٩٨٥ ذكر أن ٢٠ ألف أمريكي قد أصيبوا بالمرض وتوفي نصفهم تقريبا. وفي عام ١٩٩٠ ارتفع العدد إلى ١٢٠ ألف شخص توفي منهم ٦٠ ألف شخص.

وكل ضحايا هذا المرض يتوفون والمتوقع إصابة أعداد كبيرة بهذا المرض في السنوات القادمة. ومرض الأيدز يبدأ بالاتصال الجنسي الشاذ ثم يوزعه حاملوه إلى أشخاص آخرين عن طريق الإتصال الجنسي الطبيعي أو عن طريق نقل دمهم إلى أشخاص طبيعيين أو عن طريق إستخدام أشخاص طبيعيين لأدوات ملوثة من هؤلاء المرضى مثل موسى الحلاقة مثلا أو قد تنتقله الأم للجنين أثناء فترة الحمل ولذا فينصح دائما بتلافي هذا المرض حيث لم توجد وسيلة لعلاج حتى الآن. فإللاج الوحيد هنا هو الرقاية من هذا المرض عن طريق تنفيذ كافة التعاليم الدينية السماوية والتي لا تبيح الإتصال الجنسي الشاذ في جميع الأمور والأحوال والتي تنظم الإتصال الجنسي الطبيعي من خلال الزواج الشرعي والذي لا يسمح بتداول المرأة لأكثر من رجل والذي هو في طبيعة الأمر زوجها وهذه هي الطريقة الوحيدة للوقاية من مرض الأيدز على المستوى العام بالإضافة إلى تلافي العوامل المسببة لنقل المرض من شخص لآخر.

وفي الماضي كان هناك شك في أن سبب هذا المرض هو فيروس إلى أن أكد الباحثون هذه الحقيقة حيث إكتشفوا فيروس من نوع الـ RNA. هذا الفيروس يقوم بمهاجمة خلايا T- المساعدة مؤديا إلى ضعف شديد في الجهاز المناعي.

ومرضى الأيدز يعانون من ضعف متزايد ويصابون بأمراض أخرى حيث يموت كثيراً منهم مصاباً بنوع نادر من الالتهابات الرئوية Pneumonia. وبالإضافة إلى تأثير هذا الفيروس على الجهاز المناعي فإنه يسبب حدوث أنواع معينة من السرطان. حيث يصاب مرضى الأيدز بنوع نادر من سرطان الجلد يسمى كapos ماركوما وهو مرض خبيث يصيب الأنسجة الضامة بالجسم. وكان يعتقد أن إصابة الفيروس لخلايا T- المساعدة وإضعافها هو سبب حدوث السرطان. إلا أنه قد اكتشف أن فيروس الأيدز يحمل جين منظم Regulatory gene يندمج مع خلايا الجسم وهذا يجعل بعض خلايا الجسم تنقسم دون نظام مسببة لحدوث السرطان.

ومرضى الأيدز يعانون كذلك من بعض الاضطرابات العصبية كتفقد الذاكرة المبكر وتدهور ذهني عام يتزايد باستمرار. ولقد تمكن العلماء من كشف كيفية تأثير هذا الفيروس على المخ حيث ينتج هذا الفيروس عدداً من البروتينات داخل خلية العائل (خلية للعائل هي خلايا T- المساعدة) وتندمج هذه البروتينات مع غطاء الكابسوميرات الفيروسي. أحد هذه البروتينات يسمى gp120 وهو يستطيع قتل خلايا مخ الجنين المنماة خارج الجسم. وتوجد مستقبلات رابطة لهذا البروتين بخلايا المخ حيث يستند أنه ينتقل بالدم إلى المخ ويقتل خلاياه مسببة الاختلالات العصبية السابق وصفها.

وكما ذكرنا من قبل فيجب أن يكون مطلوباً أن فيروس الأيدز ينتقل عن طريق الإتصال الجنسي وعن طريق نقل الدم الملوّث به وأيضاً عن طريق الحقن الملوّثة به ربما نتيجة لإعادة استخدامها لحقن مدمني المخدرات وأكثر الناس تعرضاً للإصابة بهذا الفيروس هم الرجال الشاذين جنسياً (الذين يتعاملون جنسياً مع رجال مثلهم) ومرضى النزف الدموي Hemophiliacs حيث يحتاجون لنقل دم باستمرار وبالتالي زيادة احتمال تعرضهم لدم ملوث بهذا الفيروس. وأيضاً مدمني المخدرات Drug addicts حيث هؤلاء يحقنون بالمخدر الذي تمتلئ به الحقنة ويخرجها الحاقن من ذراع هذا إلى ذاك دون تغيير هذه الحقنة مما يسبب نقل الفيروس كما قد ينتقل الفيروس خلال السكان الطبيعيين جنسياً حيث يمكن أن ينقله الزوج إلى زوجته. ثم تنتقله الزوجة التي أصيبت به إلى الجنين عبر المشيمة.

وضحايا مرض النزف الدموي الذي ينشأ نتيجة لخلل وراثي هم أكثر تعرضاً للإصابة بهذا المرض (مرض الإيدز) نظراً لحاجتهم إلى الحصول على عوامل التجلط بصورة متكررة من بلازما دم الإنسان. وقبل عام ١٩٨٤ لم يكن هناك فحص للمتبرعين بدمهم لهذا الفيروس لذا فإن كثيراً من مستحضرات عوامل التجلط كانت ملوثة بفيروس الأيدز ومن المحتمل ظهور أعراض الأيدز على معظم هؤلاء الأشخاص في المستقبل.

وفحص إحتمال وجود فيروس الأيدز يتم عن طريق إختبار مناعي **Immunological test**. هذا الإختبار يكتشف إحتمال وجود الأجسام المضادة لفيروس الأيدز بالدم. وحديثاً يتم تطوير إختبار وراثي **Genetic test** ذو حساسية عالية سوف يساعد على فحص وإعطي للدم أو للمتبرعين بهمهم لمعرفة ما إذا كانوا مصابون بالفيروس من عدمه.

المصابون بفيروس الأيدز يقدرون حالياً بالملايين ولم يتم إكتشاف علاج للمرض إلا أنه يوجد دواء يسمى **AZT** هذا الدواء يطيل حياة المصاب لكنه لا يقتل الفيروس وهذا الدواء **AZT** يماظ الثمن يقال أنه يسبب الإصابة بالسرطان. وما زال الباحثون يعملون على دراسة فيروس الأيدز بمرض إستياد دواء شافي منه.

هلم : رغم أن فيروس الأيدز عبارة عن فيروس قاتل إلا أنه صعب الإنتشار ويستطيع الناس حماية أنفسهم من الإصابة به عن طريق الإلتزام بالأخلاق الحسنة وتعاليم الدين السليمة وإتخاذ الحرص عند إحتياجهم للدم أو عند حاجتهم لأخذ حقن خصوصاً هؤلاء الذين يتعاملون المخدرات بالحقن.

هل يمكن مقاومة فيروس الأيدز للقتل : لإجابة هذا التساؤل فهناك نوعين من الآراء المبنية على مشاهدات علمية فهناك آراء متشائمة وهناك آراء متفائلة. والآراء المتشائمة لا تجد أى وسيلة لعلاج هذا المرض ومقاد هذه الآراء أن فيروس الأيدز يتغير بسرعة نظراً لأنه بإمكانه إحداث طفرات تؤدي إلى تكوين أنواع أو سلالات جديدة منه حتى فى داخل الجسم. لذا فإنّه من الصعوبة إنتاج لقاح ضده.

٢- تزداد صعوبة مقاومة فيروس الأيدز نظراً لقدرته للفريبة على الإختباء فى الجسم فلقد وجد الباحثون أجسام مضادة لفيروس الأيدز فى دم أربعة مرضى. ثم إختفت هذه الأجسام بالتدريج. وتشير الأبحاث إلى أن فيروس الأيدز يمكنه الإختباء داخل الخلايا الجرثومية **Germ cells** بنخاع العظام ليبقى فى هذه الخلايا وينتقل إلى خلايا الدم البيضاء الجديدة الناتجة عن إنقسام الخلايا الجرثومية المختبئ الفيروس بدخلها. هذا الإختباء أو الإختفاء يشكل فى الحقيقة مشكلتين أمام العلماء:

الأولى أن هذا الإختباء يجعل إزالة الفيروس من الجسم عملية شبه مستحيلة. أما المشكلة الثانية فهى أن الإختباء يجعل إكتشاف الفيروس صعباً فى الأشخاص وأهوى الدم. لذا كد يقل دم ملوث يظن أنه خالى من الفيروس.

أما الآراء المتنازلة فهو ما توصل له العلماء حتى الآن ومقاده :

١- أحد الأخبار المشجعة نحو حل لنز فيروس الأيدز أعلن عام ١٩٨٨ حيث نجح العلماء فى غرس أجزاء من جهاز الإنسان المناعى فى فئران المعمل **Mices**. مما يوفر إداة صالحة لدراسة المرض وإختبار وسائل علاجه مختلفة.

٢- كما طور الباحثون سلاحا عن طريق إستخدام الهندسة الوراثية يمكنه قتل الخلايا المصابة بفيروس الإيدز حيث إستطاع الباحثون من ربط بروتين gp120 مع بكتريا. هذه البكتريا تحمل شحنه سامة تستطيع قتل الخلايا المصابة بفيروس الإيدز وبمساعدة بروتين gp120 تستطيع هذه البكتريا الوصول للخلايا المصابة. ولكن هذا السلاح ما زال فى حاجة إلى دراسة وتطوير حتى لا يحدث تحرر للفيروسات الإيدز من الخلايا المصابة بعد القتل بها.

٣- كما يحاول الباحثون إنتاج لقاح ضد فيروس الإيدز عند إعطاء هذا اللقاح يعطى وقاية من الإصابة بالمرض. لكن حدوث طفرات سريعة فى هذا الفيروس أحبط هذه المحاولات حتى الآن.

الباب الثامن عشر

الحيوان والبيئة

Animal And The Environment

فسيولوجيا الضغط

Stress Physiology

مقدمة Introduction : من أهم بل وغالبية العوامل المؤثرة على العمليات البيولوجية بجسم الإنسان أو الحيوان هي العوامل البيئية الطبيعية المحيطة بهم. وعلم فسيولوجيا البيئة **Environmental Physiology** هو الذي يختص بدراسة العلاقة بين الإنسان أو الحيوان (المسلم صحياً) وبيئته الطبيعية، وفي هذا المضمار فإن هذا العلم يختص بدراسة كل فرد أكثر من دراستهم كمجموعات. أي هو العلم الذي يختص بتفاعل الإنسان أو الحيوان تحت ظروف بيئته الطبيعية وفيما يلي بعض التمرينات (أو المصطلحات) التي يجب أن نبدأ بها بإذن الله هذا الباب.

١- **Adaptation :** وهو تكلم الحيوان لظروف بيئته الطبيعية وهذه تورث للأجيال (أو هو انتخاب طبيعي من جيل إلى آخر) يعرف مصطلح **Adaptation** أيضاً بأنه للتغيرات التي تحدث في النوع أو السلالة لتساعد على الحياة في بيئة معينة بحيث تكون هذه التغيرات جزء من تركيبها الوراثي (تورثها من جيل لآخر) وهو له نفس مفهوم الانتخاب الطبيعي **Natural selection** أيضاً

٢- **Acclimatization :** وهو تكلم الحيوان لمدة أيام أو أسابيع للتغير في مجموعة مختلفة من العوامل البيئية مثل التأقلم للتغيرات الموسمية (التكلم للصيف أو للشتاء) أو هو عبارة عن ألقمه لكل العوامل الموسمية -٣- **Acclimation :** وهو تكلم الحيوان لمدة أيام أو أسابيع أو هي التعويضات الوظيفية التي تحدث في الحيوان لمدة أيام أو أسابيع نتيجة لتغير عامل واحد من العوامل البيئية (عامل واحد فقط مثل الحرارة - الرطوبة - الإشعاع الشمسي .. الخ) كما يحدث في للتجارب العلمية المحكمة حيث يقوم الباحث بتثبيت كل العوامل البيئية داخل حجرة ويقوم بتغيير عامل واحد لدراسته (كتثبيت كل العوامل وتغيير درجة الحرارة مثلاً) -٤- **Habituation :** دراسات عديدة أجريت على التعود أو الترويض **Habituation** بواسطة العالم Glaser, 1959 حيث عرفها بأنها العمليات التي تحدث نتيجة للتعريد والتي تبدو أنها لا تعتمد على العقل وتحتوي أسساً على تقليل الاستجابة للمؤثر.

وقد اقترح (1963) Eagan نوعين من عملية التعرید هذه أ- **Specific habituation** : وهذه تختص بتكرار تعرض جزء معين من الجسم إلى مؤثر معين حيث يقل بمرور الوقت الاستجابة للمؤثر مثل تكرار وضع أصبع الإنسان في الماء المتكح مثلًا أو الماء الساخن مثلًا .. الخ. ب- **General habituation** : وهو للتأثير الفسيولوجي الذي يحدث لمجموعة أعضاء كنتيجة لتكرار تعرض عضو واحد لمؤثر ومثال ذلك إنقباض الأوعية Vasoconstriction الذي يحدث لكل الأطراف نتيجة تعرض أصبع واحد للبرودة لمدة أيام.

التنظيم الحراري Thermoregulation or Temperature regulation هو أحسن مثال لتعريف الإتران الداخلي Homeostasis والذي يعنى بقاء درجة حرارة الجسم ثابتة لا تتغير بقدر الإمكان إلا في حدود ضيقة جدًا مثلما يحدث في الإنسان حيث تظل درجة حرارته غالبًا في الحالات الطبيعية قريبة جدًا من ٣٧°م. وتعتبر الـ Hypothalamus في بعض الثدييات ومنها الإنسان عبارة عن منظم حرارة Thermostat حيث تتحكم الـ Hypothalamus في تنظيم درجة حرارة الجسم عن طريق مركزين Two centers هما : المركز الأول : وهو موجود في الـ Anterior hypothalamus وهو مختص بالفقد الحراري.

المركز الثاني : وهو موجود في Posterior hypothalamus وهو مختص بحفظ الحرارة أو المحافظة على الحرارة من التبدد.

حرارة الجسم Body Temperature أغلب الثدييات Mammals ومنها الإنسان تعتبر Homeothermic بمعنى أنها تستطيع أن تحافظ على درجة حرارة جسمها ثابتة بقدر الإمكان بصرف النظر عن درجة حرارة البيئة المحيطة أو دون الاعتماد على درجة حرارة البيئة المحيطة بالحيوان أو الإنسان.

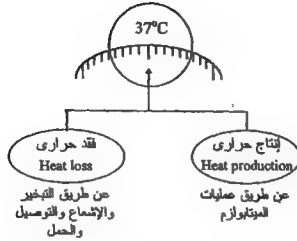
وهناك مصطلح يطلق على الثدييات والطيور وهي أنها تعتبر Endothermic أى أنها تنتج الحرارة وتنظم مصاندها الحرارية أما باقي الفقاريات مثل الأسماك والزواحف والضفادع فهذه تختلف درجة حرارة جسمها باختلاف البيئة المحيطة بها.

ودرجة حرارة جسم الإنسان تقع بين ٣٧-٣٩,٥° ف وتُقاس بواسطة ترمومتر طبي يوضع تحت اللسان Under the tongue أو في الأبط In the axilla أو في المستقيم In the rectum .. ويحتاج الترمومتر بعد وضعه لمدة ثلاث دقائق حتى تصل درجة حرارة الترمومتر للتوازن بينه وبين درجة الحرارة المحيطة به.

ويلاحظ أن درجة حرارة الأبط تكون أقل من درجة حرارة تحت اللسان بحوالى ٠,٥ إلى ٠ درجة ف أما درجة حرارة الشرج فتكون أعلا من درجة حرارة تحت اللسان بحوالى ١-٣.٠
ويلاحظ أنه بالنسبة للسيدات تكون درجة حرارة الجسم أعلا في النصف الثاني من الدورة الشهرية عنه في النصف الأول.
ودرجة حرارة اللق أو الشرج تكون في كثير من الحالات ايس لها دلالات كافية خاصة في حالات حساب الفقد الحرارى من جسم الثدييات.
الإتزان الحرارى **Heat Balance** درجة حرارة الجسم تكون ثابتة بقدر الامكان نتيجة للتوازن الحادث بين الإنتاج الحرارى والفقد الحرارى (شكل ١٨-١).
والجدول التالى (جدول ١٨-١) يبين بعض العوامل التى تؤدى إلى زيادة الإنتاج الحرارى والفقد الحرارى.

جدول ١٨-١ : بعض العوامل التى تؤدى إلى زيادة الإنتاج الحرارى والعوامل التى تؤدى إلى زيادة الفقد الحرارى

عوامل تؤدى لزيادة الفقد الحرارى Factors inhancing heat lass	عوامل تؤدى لزيادة الإنتاج الحرارى Factors increasing heat production
١- العرق Sweating	١- المجهود Exercise or
٢- التنفس Panting	أو الرعشة Shivering
٣- البيئة الباردة Coller environment	٢- Chemical increase of
٤- زيادة الدم المتدفق للجلد Increased skin circulation	metabolic rate
(Vasodilatation)	٣- Imperceptible tensing muscles
٥- تقليل الملابس أو تقليل العزل Insulation	٤- Specific Dynamic Action of
٦- Increased radiating surface	food (SDA)
٧- Increased air movement (convection)	٥- الأمراض مثل الحمى Fever
	عوامل تؤدى لتقلص الفقد الحرارى Factors decreasing heat loos
	1- Shift in blood distribution
	2- Decreases in tissue conductance.



شكل (١٨-١) : الشكل يوضح التوازن النسبي لدرجة حرارة الجسم كنتيجة للتوازن الحادث بين التقد الحرارى والإنتاج الحرارى.

الحرارة المكتسبة Heat Gained : الحرارة المكتسبة في الجسم لو من مصدرها الوحيد هو عمليات التمثيل الغذائي Internal metabolism ولكن أيضا تكتسب من البيئة المحيطة بالحيوان فمثلا لو كان الإنسان أو الحيوان يقف في الصحراء ودرجة حرارة الرمال والصخور عالية فإنه يكتسب أيضا حرارة منها وأيضا لو كان الغذاء درجة حرارته أعلا من درجة حرارة جسم الحيوان فتعتبر هذه حرارة مكتسبة من البيئة المحيطة بالحيوان.

بالإضافة إلى ذلك فلو كانت الحرارة المنتجة Heat production غير كافية للمحافظة على حرارة الجسم فإنه هناك عدة عمليات تمثيلية Metabolic processes تحدث عن طريق الانقباضات اللاإرادية للمعضلات الهيكلية كما يحدث في حالة الرعشة Shivering، كما أن هناك زيادة للإنتاج الحرارى نتيجة لأثر الهرمونات ومن أمثلة هذه الهرمونات هرمون Epinephrine وهرمون Norepinephrine وهرمونات الغدة الدرقية T_3 & T_4 وهرمونات قشرة الغدة الجاركلوية وأهمها هرمون الـ Cortisol فمعد تعرض الثدييات للبرودة تكون قادرة على إنتاج حرارة بمسرف النظر عن انقباض العضلات أو دون الاعتماد على انقباض العضلات حيث يمكن بذلك وضع بعض الثدييات في حجرة حرارتها 5°م وتكون قادرة على المحافظة على درجة حرارة جسمها أي أن هذه الثدييات تقوم بزيادة إفراز عدة هرمونات منتجة للطاقة Calorigenic hormones وهذه الهرمونات تسبب زيادة الإنتاج الحرارى عن طريق زيادة معدلات التمثيل الغذائي Metabolic rates ويعتقد البعض أن البرد

cold يسبب زيادة هرمون Thyroid stimulating hormone (TSH) من الغدة الأمامية للغدة النخامية وتعرض الحيوان للبرد لعدة أسابيع يسبب زيادة افراز هرمونات الدرقية لأكثر من ١٠٠٪ من افرازها الطبيعي وهذه الكميات من T_4 & T_3 تسبب زيادة معدل التمثيل القاعدي Basal Metabolic Rate لحوالي ٣٠٪ عن معدلاته الطبيعية. وأيضاً بعض مصادر الحرارة المكتسبة للحيوان هو الغذاء الذي يمد الحيوان بالطاقة .

الفقد الحرارى Heat Loss : الفقد الحرارى فى الثدييات يتم عن طريق :- ١- التوصيل Conduction - ٢- الحمل Convection - ٣- الإشعاع Radiation - ٤- التبخر Evaporation .
وفقد الحرارة عن طريق الجلد يعتمد إلى حد كبير على الفرق فى درجة الحرارة بين الجلد والهواء المحيط به أو المادة الملاصقة له أما درجة حرارة الجلد فتتظم عن طريق ١- تدفق الدم للجلد .
٢- Blood flow to the skin .
٣- التبخر من على سطح الجلد . Evaporation .

فعند انخفاض تدفق الدم للجلد (الأطراف) Skin vasoconstriction تنخفض درجة حرارة الجلد وبالتالي يقل فقد حرارة الجلد للبيئة المحيطة أما عند ارتفاع تدفق الدم للجلد Skin vasodilatation فقد تصل الـ Skin temperature إلى درجة حرارة كبيرة قريبة من درجة الـ Rectal temperature وبالتالي يكون الفقد الحرارى Heat loss أقصاه يضاف إلى هذه العلاقة الفقد الحرارى عن طريق التبخر من الرئتين Respiratory evaporation فى بعض الحيوانات مثل الكلب والدجاج لا يوجد لها عدد عرقية وبالتالي فهى تفقد الحرارة عن طريق الـ Respiratory evaporation بالإضافة إلى خروج الهواء الساخن من الرئة أثناء عملية الزفير ، أما تنظيم تدفق الدم للجلد فينظم إلى حد بعيد عن طريق جزء فى المخ يسمى نخاع المخ Medulla of the brain ودرجة أقل موضعياً على الجلد نفسه بالاحساس بالبرد أو الحرارة.

١- التوصيل Conduction : الحرارة تفقد بواسطة التوصيل عن طريق الاتصال الطبيعى بين الإنسان أو الحيوان والأجسام التى حوله أو التى يجلس عليها مثلاً .

ويقل الفقد الحرارى عن طريق التوصيل Conduction إذا كانت هناك مادة عازلة مثل الفراخ - الضفاد الصوفى - الملابس ... مثلاً فهذه المواد تعمل كطبقة عازلة تقلل الفقد الحرارى عن طريق التوصيل والغذاء الصوفى يعتبر طبقة عازلة Insulative layer بدرجة كبيرة حيث يقى للحيوان برد الشتاء الشديد وحرارة الشمس الشديدة أيضاً كما سيأتى شرحه فيما بعد.

٢- الحمل Convection : هو مشابه للتوصيل لكن فى حالة الحمل تنتقل الحرارة للهواء الذى يسخن (تزداد درجة حرارته) ويرتفع إلى أعلى أخذاً معه الحرارة العالية ثم يأتى الهواء البارد

ليحل محله وهناك نوعين مختلفين من الحمل هما : ١- الحمل الطبيعي **Natural convection** : وهو الذى تنتقل فيه الحرارة للهواء حيث يرتفع الهواء الساخن ليحل محله الهواء البارد (تيارات الحمل). ٢- الحمل القسري أو الإضطرابى **Forced Convection** : وهو الذى يحدث فيه زيادة سرعة الهواء أو الماء نتيجة لمؤثر خارجى (سرعة الرياح مثلا) وبالتالي **Heat Loss** يفقد الحرارى عن طريق الحمل **convection** يتأثر بمساحة مسطح الجسم بالإضافة إلى سرعة الهواء. ٣- الإشعاع **Radiation** : الإشعاع هو فقد الحرارى عن طريق الموجات الكهرومغناطيسية للأشعة تحت الحمراء **Electromagnetic infrared waves** وكمية الحرارة المفقودة عن طريق الإشعاع لا تعتمد فقط على درجة حرارة الجسم المشع لكنها تعتمد أيضا على لونه ونوع مادته. ٤- الفقد الحرارى عن طريق تبخير الماء **Heat Loss By Evaporation Of Water** : للتبخير **evaporation** يتم عن طريقين هما : أ- الجهاز التنفسى **Respiratory System**. ب- الفقد لمرقبة **Sweat glands**. أو قد يتم للتبخير عن الطريقتين معا.

وبالتالى تنقسم الحيوانات بالنسبة للفقد الحرارى عن طريق للتبخير **Heat Loss Through evaporation** إلى ثلاث مجموعات هى :

أ- **Panting Animals** : كما فى حالة الكلب والدجاج فهذه الحيوانات تفقد الحرارة عن طريق للتبخير عن طريق التنفس من الجهاز التنفسى **Respiratory evaporation** كما أنها ليس لها غدد عرقية .

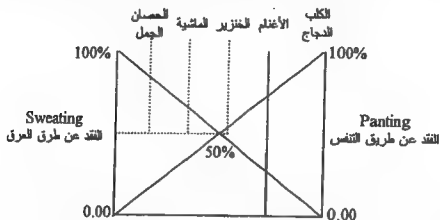
ب- **Sweating Animals** : وهى التى تفقد حرارتها عن طريق تبخير العرق من على سطح الجلد كما فى حالة الإنسان .

ج- **Panting And Sweating Animals** : وهذه المجموعة من الحيوانات تفقد حرارتها عن طريق للتبخير من الجهاز التنفسى **Respiratory evaporation** وأيضاً عن طريق العرق أو تبخير العرق من على سطح الجلد.

والشكل التالى (١٨-٢) يوضح موقع الإنسان وبعض حيوانات المزرعة بالنسبة للفقد الحرارى عن طريق للتبخير.

وقد أوضح Dill سنة ١٩٣٤ أمثلة للحيوانات التى تعتمد فى التخلص من الحرارة على **Respiratory evaporation** مثل الكلب والدجاج فمثلا فى حالة الكلب فإن معدل التنفس فى الحالات العادية يكون ١٥-٣٠ تنفس فى الدقيقة الواحدة بينما يزداد عند تعرضه لدرجات حرارة عالية ليصل إلى أكثر من ٣٠٠ تنفس فى الدقيقة الواحدة ويسمى هذا التنفس السريع **Rapid shallow panting**

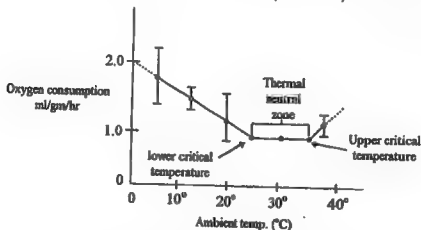
وهذه الحالة تؤثر على Acid base balance في الجسم حيث تتغير الـ pH وتميل إلى القلوية كنتيجة للخلل في اتزان دخول الأوكسجين للرئتين وخروج ثاني أكسيد الكربون منها حيث سرعة دخول الهواء وخروجه تسبب عدم خروج ثاني أكسيد الكربون كما في الحالات العادية وبالتالي تميل pH للدم للقلوية.



شكل (٢-١٨) : الشكل يوضح أن فقد الحرارة عن طريق التبخر يكون ١٠٠٪ عن طريق التنفس في الدجاجة والكلب و ١٠٠٪ عن طريق الحرق في الإنسان أما باقي الأنواع الموجودة في الشكل فيتم فيها فقد الحرارة بالطريقتين .

المدى الحرارى الموائم Zone Of Thermal Neutrality ويطلق عليه أيضاً

Thermonutral zone (شكل ٢-١٨) .



شكل (٢-١٨) : المنحنى بين درجة الحرارة العليا الحرجة Upper critical temp. ودرجة الحرارة السفلى الحرجة Lower critical temp. والمدى الحرارى الموائم Thermonutral zone في القلعب ومحسوبة من قبل معدل استهلاك الأوكسجين oxygen consumption .

والشكل (١٨-٣) السابق يبين ما أوضحتها بعض الباحثين أن للمدى الحرارى المواسم

Thermoneutral zone هو درجات الحرارة المحصورة بين الـ Lower and upper critical temperatures وبالتالي فهو الجزء من المنحنى الذى لا يحدث فيه زيادة فى الإنتاج الحرارى Heat production. ويطلق على المدى الحرارى أيضاً Thermoregulatory zone أو Heat comfort zone وبعبارة أخرى فيعرف المدى الحرارى بأنه : مدى يقع بين درجتين من حرارة الجو والذى تكون فيه درجة حرارة الجسم ثابتة ومنظمه طبيعياً وبدون أى اضطراب فى النشاط الحيوى لأجهزة الجسم المختلفة ويختلف المدى الحرارى باختلاف جنس ونوع الحيوان.

فى حالة انخفاض درجة الحرارة عن الـ Comfort zone أى تعرض الحيوان للبرودة Cold environment فتكون المشكلة هنا أن الحيوان يحتاج إلى زيادة الإنتاج الحرارى عن طريق الـ Metabolism. فيزيد فى هذه الحالة الـ Metabolic heat production ويعتبر هذا Chemical regulation of body temperature وفى نفس الوقت يقوم الحيوان بتقليل الفقد الحرارى Heat loss.

أما فى حالة ارتفاع درجة الحرارة عن الـ Comfort zone فى هذه الحالة يكتسب الحيوان حرارة من الجو المحيط به وبالتالي يزداد العبء الحرارى Heat load على الحيوان وفى هذه الحالة فإن الحيوان يحتاج إلى تقليل الإنتاج الحرارى Heat production وزيادة الفقد الحرارى Heat loss فى نفس الوقت.

كيفية التنظيم الحرارى Mechanism of temperature regulation : أوضح Folk (1974) أن الجزء الأمامى من الـ Hypothalamus مختص بالفقد الحرارى Heat loss بينما الجزء الخلفى من الـ Hypothalamus مختص بالإنتاج الحرارى Heat production.

وتعتبر الـ Hypothalamus عبارة عن مركز للتنظيم الحرارى فى الجسم حيث ترد إليها الإشارات العصبية من ثلاث مناطق فى الجسم وهذه الثلاث مناطق بينها وبين الـ Hypothalamus اتصالات عصبية وهى :

- ١- مستقبلات حرارية Thermal receptors والتي توجد على الأطراف (السطح الخارجى للجسم).
- ٢- الخلايا الحسبة الحرارية Thermal sensitive cells والتي توجد فى الـ Cranial CNS.
- ٣- المستقبلات الحرارية بفتحة الشرج The core receptors وهذه موجودة داخل الجسم على عمق ١٠-٥ سم تقريباً من فتحة الشرج.

هذا والعامل الأول وهو المستقبلات الحرارية Thermal receptors أكثر الأثر في تنظيم درجة حرارة الجسم.

الاستجابة للجو الحار Responses To A Hot Environment : معظم الثدييات بما فيها الإنسان Mammals تعاني من شدة الحرارة أكثر من معاناتها من شدة البرودة أو بمعنى آخر أن شدة الحرارة تكون أخطر عليها من شدة البرودة وذلك يرجع بعض الشيء إلى إحتوائها على عدة آليات (نظم) فسيولوجية لمقاومة البرودة أكثر من الآليات الفسيولوجية Physiological mechanisms لمقاومة الحرارة.

وأهم التنظيمات الفسيولوجية المختصة بمقاومة الحرارة هي العرق Sweating والتنفس Panting واتساع الأوعية الدموية Vasodilatation.

تقسيم المناطق الحارة Classification of hot climates : تنقسم الأجواء الحارة غالباً إلى نوعين هما ١- مناطق جافة شديدة الحرارة Hot dry و ٢- مناطق حارة رطبة Warm-humid.

وأهم ما يميز مناطق الـ Hot dry هي : ١- درجة حرارة عالية أثناء النهار (حرارة الجو عالية أثناء النهار). ٢- إنخفاض الرطوبة النسبية. ٣- وجود الإشعاع الشمسي Solar radiation. ٤- إختلاف كبير في درجة حرارة الجو بين الليل والنهار. ٥- إمتصاص الأرض لحرارة الإشعاع الشمسي لترتفع درجة حرارتها ويمكن أن تصل ١٩٠°ف. ٦- تعكس الأرض الحرارة على الأجسام الملونة كالإنسان مثلاً. ٧- درجة حرارة الجو تكون أعلا من درجة حرارة الجلد في الإنسان أو الغطاء الموجود على الحيوان. ٨- تقوم درجة حرارة الجو العالية بزيادة درجة حرارة الجسم أو برفع درجة حرارة الجسم عن طريق الـ Convection بدلاً من ترطيب الجسم. ٩- نقص الخضرة (النباتات الخضراء) بدرجة كبيرة أو إعدامها.

وأهم ما يميز مناطق الـ Warm humid هي : ١- لا ترتفع درجة حرارة الجو عن ٩٠-٩٥°ف. ٢- متوسط الرطوبة النسبية ٧٥٪ أو أكثر. ٣- إختلاف قليل في درجة الحرارة بين الليل والنهار وبين المواسم وبعضها. ٤- الخضرة موجودة وتسمح بوجود تظليل للوقاية من الإشعاع الشمسي Solar radiation. ٥- ارتفاع كمية الرطوبة بالهواء الجوي يقلل من شفافية Transparency هذا الهواء وبالتالي يقل إختراق الإشعاع الشمسي له وبالتالي يقل الـ Solar, heat load على الحيوان (أي يقل الحمل الحراري نتيجة الإشعاع الشمسي على الحيوان).

هذا وبمقارنة المنطقتين السابقتين : نجد أن الطاقة الحرارية الناتجة عن الإشعاع الشمسي عاليه في كلا المنطقتين لكنه في منطقة الـ Warm-humid نجد أن ارتفاع الحرارة يتحول إلى بخار ماء يظل عالقا في الهواء الجوى في مسورة حرارة غير محسوسة Insensible heat بينما في الصحراء أو مناطق الـ Hot dry فنجد أن حرارة الإشعاع الشمسي سواء بطريقة مباشرة أو بطريقة غير مباشرة تسبب ارتفاع درجة حرارة الأسطح وأيضا درجة حرارة الهواء الجوى وتبقى هذه الحرارة في صورة حرارة محسوسة Sensible heat.

أما من الناحية الفسيولوجية فالإنسان مثلا يكون في كلا المنطقتين واقع تحت ضغط حرارى Heat stress ومشكلته في منطقة الـ Warm-humid هو نقص تبخير الحرق من على سطح الجلد وبالتالي نقص في كفاءة عملية التبريد عن طريق التبخير Evaporative cooling أو بمعنى آخر فإن مشكلته هي عدم قدرته على زيادة معدلات التبخير من على سطح الجلد.

أما في المنطقة الثانية وهي الـ Hot dry فإن مشكلته تتحدد في استطاعته في إنتاج كميات كافية من الحرق باستمرار لتقابل احتياجاته لتبريد جسمه.

فسيولوجيا الإنسان في الجو الحار Human Physiology In The Heat : ميكانيكية التخلص الحرارى في الإنسان تتلخص في عمليتين أساسيتين هما إتساع الأوعية الدموية الموجودة على سطح الجلد Vasodilatation الذى يؤدي إلى نقص الـ Total peripheral resistance وبالتالي زيادة تدفق الدم للجلد Increased blood flow to the skin الذى يؤدي في النهاية إلى زيادة فقد الحرارة Heat loss.

أما العملية الثانية فهي إنتاج الحرق Sweat production على سطح الجلد وعن طريق تبخير هذا الحرق من على سطح الجلد يتخلص الجسم من الحرارة.

وإتساع الأوعية الدموية لا يعتبر للعامل الرئيسي أو الهام في التخلص الحرارى في الإنسان حيث يكون إتساع الأوعية أنصاه في مرحلة مبكرة من بداية الـ Exposure to heat وبالتالي نجد أن الإنسان يبدأ في الحرق عند تعرضه لدرجة حرارة بين ٣٠م إلى ٣١م (مع ملاحظة إختلاف درجة الحرارة التي يحدث عندها الحرق بإختلاف مناطق الجسم المختلفة). وقبل درجة الحرارة هذه (٣٠-٣١م) يبدأ إتساع الأوعية الدموية حيث يبدأ إنتقال الحرارة من داخل الجسم إلى سطحه.

وأوضح دليل على عملية إتساع الأوعية الدموية Vasodilatation هو تلون وجه الإنسان باللون الأحمر عندما يقوم بعمل إجهاد حرارى Heat strain فعندما يزيد تدفق الدم نتيجة إتساع

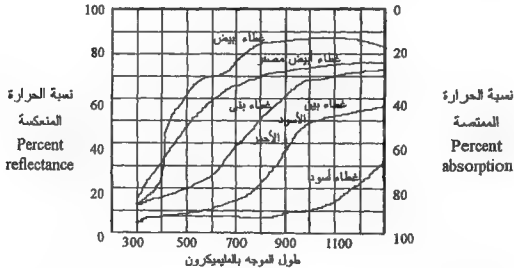
الأوعية تزيد كفاءة التوصيل الحرارى لأنسجة الجسم الموجودة على الأطراف إلى حوالى ٥ إلى ٦ أضعاف الحالة العادية وبالتالي يزيد الفقد الحرارى.

آليات الفقد الحرارى : Mechanisms Of Heat Loss

١- **الحرارة المخزنة Heat storage** : تخزين الحرارة بالجسم (الحرارة المخزنة) يمكن إيضاحها عندما يتعرض الإنسان للعطش والحرارة مما نجد أنه يقوم بتخزين جزء من الحرارة حيث يرفع درجة حرارة جسمه إلى حوالى ٣٢°م فى حالة نقص الماء بجسمه بمقدار ١٠٪ حيث يؤدي رفع درجة الحرارة الموضوعه Set point إلى إمكانية تقليل كميات الماء المطلوبة لعمل فقد حرارى أى أن هذا يعتبر آلية من آليات التكامل لتقليل الفقد الحرارى Heat loss عن طريق التخزين وبالتالي تقليل فقد الماء من جسمه.

٢- **حجم الجسم Body Size** : عند تعرض جسمين أحدهما صغير والآخر كبير ومصنوعين من مادة واحدة إلى حرارة الإشعاع الشمسى فسوف نجد أن الجسم الصغير ارتفعت درجة حرارته بدرجة كبيره بينما نجد أن الجسم الكبير مازال بارد إلى حد ما ولذلك فسمى الجسم الكبير بأن له قوة استمرار حرارى أو ثبات حرارى إلى حد ما "Greater thermal inertia" مع مسطح الجسم.

٣- **معامل الانعكاس Reflectance** : هناك تأثير للون لغطاء الحيوان على كلا من الحرارة المنعكسة (المفقودة) أو المكتسبة (شكل ١٨-٥) فتزداد الحرارة المكتسبة كلما إتجهنا من اللون الأبيض إلى الأسود والعكس صحيح بالنسبة لحرارة المنعكسة (المفقودة).



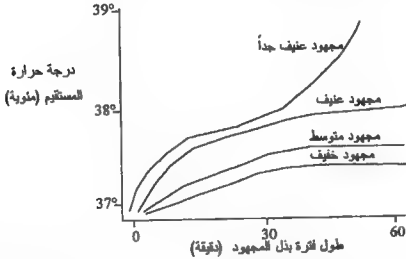
شكل (١٨-٥) : الشكل يوضح أن الحرارة الممتصة تزداد كلما إتجهنا بلون لغطاء من الأبيض إلى الأسود كما أن الحرارة المنعكسة (المفقودة) أو شدة الانعكاس تزداد كلما إتجهنا بلون لغطاء من الأسود إلى الأبيض.

وبالتالى فإن لون غشاء الحيوان يحدد بدرجة كبيرة قوة تحمل هذا الحيوان للضغط الحرارى الواقع عليه مثله فى ذلك مثل لون صبغات الجلد فى الإنسان ولون الملابس التى يرتديها الإنسان.

الإتران الحرارى Heat Balance : فى المناخ المستدل حوالى ٥٠% من الحرارة المنتجة بواسطة الجسم تُفقد بواسطة الإشعاع و ٢٥% تُفقد بواسطة الحمل، و ٢٥% تُفقد بواسطة التبخير (تبخير العرق من على السطح).

وعندما يقوم الإنسان بأداء عمل أو يقوم ببذل مجهود Exercise فى الـ Dry heat فإن كمية الحرارة المنتجة ترتفع عن حالة الراحة العادية Resting level كما أن كمية الحرارة المفقودة تنزّل فى النهاية مع كمية الحرارة الفائضة.

وأيضاً كلما زادت كمية المجهود Exercise كلما زادت كمية الحرارة الناتجة وبالتالي إرتفعت درجة حرارة المستقيم Rectal temperature كما هو مبين بالشكل (١٨-٧).



شكل (١٨-٧) : الشكل يوضح إرتفاع درجة حرارة المستقيم مع درجات مجهود مختلفة وواضح أنه كلما زاد المجهود أو زاد مجهود العمل كلما زادت درجة حرارة المستقيم مع ملاحظة أنه لا توجد درجة حرارة تثبت عندما درجة حرارة المستقيم بعد حد معين من العمل (مأخوذ عن نيلسن سنة ١٩٧٤).

وإثناء العمل أو بذل المجهود Exercise فى الـ Dry hot (وليس فى الـ Worm-humid) يكون الفقد الحرارى Heat loss عن طريق الـ Convection والـ Radiation قليل بالمقارنة بالفقد عن طريقها أثناء فترات الراحة وذلك لأن كمية العرق الناتجة أثناء المجهود تتبخر من على سطح الجلد مما يؤدي إلى تبريد سطح الجلد الأمر الذى يؤدي إلى تقليل الفرق فى درجة الحرارة بين جلد الحيوان والوسط المحيط به وبذلك يقل الفقد الحرارى فى هذه الحالة عن طريق الـ Convection and

Radiation. وبالتالي فإن التبخير عن طريق العرق يكون مسئول عن فقد كل الحرارة الناتجة من العمل وكمية قليلة أيضا بالإضافة إلى الكمية السابقة وهي التي كانت تفقد عادة عن طريق الـ **Convection & Radiation** ولم تفقد كلها بل فقد جزء بسيط منها وذلك فالفرق يجب أن يفقد عن طريق تبخير العرق.

أو بمعنى آخر يمكن القول أنه في حالة بذل المجهود Exercise فإن الـ **Evaporation** هي المجرى الوحيد لكل الفقد الحرارى **Heat loss** تقريبا.

هذا وقد إستخلص نيلمن من دراساته أن للتنظيم الحرارى **Thermoregulation** أثناء العمل له وظيفتين منفصلتين هما : ١- زيادة الحرارة الملتجة داخل الجسم بمستويات تتناسب مع كمية الأكسجين المأخوذ أو (المستهلك). ٢- تنظيم الحرارة المفقودة بدرجة تعادل كمية الحرارة الكلية المنتجة بصرف النظر عن الحرارة المنتجة داخليا.

٥- **العرق Sweating** : العرق هو السائل المفرز على سطح الجلد من الغدة العرقية (عدة خارجية الإفراز). والسؤال الآن ما هي العوامل البيئية التي تؤثر على هذه الغدة لتبدأ إفراز العرق ؟ والإجابة أنها درجات الحرارة المرتفعة والتعرض لحرارة الشمس أو هي كل العوامل التي تسبب زيادة الضغط الحرارى **Heat load** على الإنسان أو الحيوان.

فمثلا في حالة الإنسان في درجة حرارة جوية من ٢٨°م حتى ٣٠°م يحدث الـ **Temperature regulation** عن طريق الـ **Convection & Radiation** من الجلد عن طريق تغيير في درجة إتساع الأوعية حيث يزداد إتساعها وبالتالي زيادة ورود الدم للجلد وعند زيادة درجة حرارة الجو عن ٣٠°م يبدأ إفراز العرق وتكون كمية العرق متناسبة مع درجة حرارة الجو حتى تقوم بعمل التنظيم الحرارى **Thermoregulation** (مثال ذلك زيادة كمية العرق المنتجة في الإنسان بمعدل ٢٠جم في الساعة لكل ١°م زيادة في درجة حرارة الجو).

وأول ما يبدأ العرق يزداد تنفق الدم للجلد **Blood flow to the skin** وتكون هذه الزيادة متناسبة مع زيادة الضغط الحرارى **Heat load** على الحيوان (الإنسان مثلا) حيث يتم نقل الحرارة من الوسط الداخلى للجسم إلى الأطراف حيث يتم التخلص منها بواسطة الجلد عن طريق تبخير العرق.

وفي جسم الإنسان (جلد الإنسان) يوجد نوعان من الغدد العرقية **Sweat glands** وهما : ١- **The Apocrine sweat gland** وهي تفتح في حويصلة الشعر. ٢- **The eccrine sweat gland** وهي تفتح في ثقب على سطح الجلد مباشرة.

وتتمثل الغدد العرقية Sweat glands بأعصاب سمبثاوية Sympathetic nerves. وتستجيب الـ Eccrine sweat glands لكلا من الأسيتل كولين Acetylcholine والأدرينالين Adrenaline (Epinephrine) فعند حقنهم تبدأ في إفراز العرق لكن هناك اعتقاد أن آلية إفراز العرق Mechanism of sweating أثناء عملية العرق العنابية كنتيجة للظروف البيئية لا تحتوي بدلاها على أي من الـ Acetylcholine or epinephrine ولكن يعتقد أن تنبيه إفراز العرق يحدث عن طريق التأثير على المستقبلات الحسية الموجودة على السطح الخارجي للجلد Peripheral receptors وأيضاً عن طريق درجة حرارة الدم الواصل للهيوثالامات وبالتالي درجة حرارة الهيوثالامات نفسها. وهناك نظرية مؤداه أن العرق في البداية يحدث عن طريق الـ Peripheral receptors ولكن زيادة العرق هذه تحدث نتيجة ارتفاع درجة حرارة الـ Hypothalamus.

وعند تعرض الإنسان لدرجات حرارة مرتفعة فإنه يعرق والعرق يحتوي على أملاح لذا فإن الإنسان عندما يعرق يفقد أملاح وبالتالي يجب تعويضه عن هذه الأملاح بإضافتها إلى الغذاء. وهذا يعني أن الماء بمفرده غير كافٍ لمعيشة الإنسان في الصحراء ولذلك فالماء أيضاً له درجة كبيرة من الأهمية في هذه الحالة.

وأهم الأملاح التي تفقد عن طريق العرق هي Sodium and chloride وهما دائماً يوجدان في العرق بنسب أقل من وجودهم في بلازما الدم Blood plasma لذا ففي المناطق الحارة يميل الإنسان إلى تناول كميات إضافية من الملح أما بالنسبة للحيوان فيجب تطبيق مكعبات الملح الكبيرة أمامه ليأخذ منها بلساته ما يضبط الإيزان الملحي بجسمه. حيث أن الإنسان أو الحيوان يقوم بضبط الإيزان الملحي بجسمه عن طريق آليات الإيزان الداخلي Homeostatic mechanisms والتي تدفعه إلى تناول كميات زائدة من الملح أو إلى تقليل الكميات المأخوذة منه تبعاً للزيادة أو النقص في فقد الملح من الجسم.

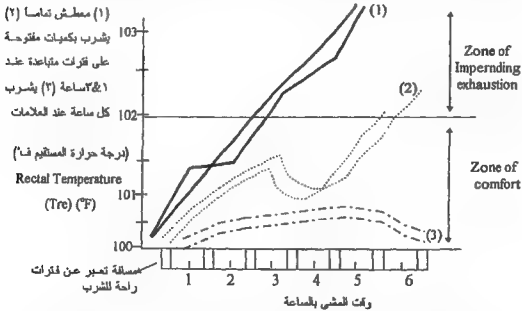
أما فقد الحرارة عن طريق التبخير من الجهاز التنفسي Panting فقد تحدثنا عنه سابقاً في بداية هذا الباب (راجع فقد الحرارة عن طريق الـ Respiratory evaporation).

العطش Thirst : تعويض الماء المفقود من الجسم (سواء عن طريق الـ Sweating أو عن طريق الـ Respiratory System أو عن أي طريق آخر) يتم تحت تحكم فسيولوجي Physiological control والذي نسميه العطش Thirst.

والمركز الرئيسي والذي يله الإنسان أو الحيوان لشرب الماء موجود بالـ Hypothalamus وقد أوضح أندرسون أنه توجد Specific osmoreceptors في الـ Hypothalamus والتي تستجيب

للتغير في أسموزية الدم Osmotic concentration of the blood وقد وجد أنه عندما تنبّه هذه الخلايا في الماعز فأتبها تستجيب لشرب الماء بأكثر من إحتياجاتها بحوالى ٤٠٪.

وتحت للظروف الطبيعية فالإنسان أو الحيوان يوقف الشرب بمجرد إبتصاص الماء من المعدة وتخفيفه للدم. كما وجد أيضاً أن كمية الماء التى تمر فى المرئ تنبّه الإنسان والحيوان ليوقف الشرب، أى أن إيقاف الشرب للحيوان المعطش يمكن أن يتم عن طريقين : إما بمرور كميات كافية فى المرئ أو بإمتصاص الماء من المعدة وإنتقاله إلى الدم لتخفيفه. ويعتقد أن هذه الآلية فى الإنسان غير كافية أو ليست هى بالأمتل لتتظلم كمية الماء المأخوذة لتعويض الماء المفقود من الجسم بالتبخير حيث لا يشرب الإنسان كميات كافية من الماء بعد عرق كثير Heavy sweating فقد وجد أنه عند حدوث Dehydration (فقد للماء) من الإنسان بحيث تصل نسبة فقد الماء إلى حوالى ٢-٤٪ من وزن الجسم فإن الإنسان لا يشرب كميات كافية مرة واحدة لتعويض هذا الفقد حيث أن الإنسان له قدرة قليلة نسبياً فى إستيعاب المياه، والشكل (١٨-٨) يوضح أهمية مزايا شرب الإنسان للمياه على فترات متقاربة أثناء تعرضه للصدمه الحارة Heat stress وبذل المجهود Exercise وقده لكميات من المرق.



شكل (١٨-٨) : يوضح العلاقة بين الماء المأخوذ والمشي عند درجة حرارة ٣٩°م، ٢٥٪ رطوبة نسبية. فى الحالة

(١) نجد أن عدم إعطاء ماء للشرب أدى إلى رفع Tre إلى درجة أعلى من ١٠٢°م وهى المنطقة الموشك فيها على التعب الشديد، أما فى (٢) فأعطاه الماء بكميات مفتوحة فى الساعة الأولى والثالثة فقط أدى لعدم إستيعابه لكل كميات الماء المطلوبة بتأويل إرتفاع Tre عن الحالة الطبيعية فى (٣) ولتى يشرب فيها كل ساعة ولتى فيها أصبح فى لحسن حالة.

والشكل السابق يؤكد أن الإنسان إذا فقد كمية كبيرة من العرق نتيجة بذل المجهود Exercise والتعرض للحرارة Exposure to heat حتى وصلت نسبة الـ Dehydration به إلى حوالي ٢-٤٪ من وزن جسمه فإنه عندما يمرض عليه ماء للشرب بكميات مفتوحة لا يشرب كل الكميات التي قددها مرة واحدة ولكنه يشرب أقل منها بدليل المنحنى رقم ٢ (شكل ١٨-٨). بينما لو توفر أمامه ماء الشرب على فترات متقاربة فإنه يأخذ احتياجاته كاملة كل فترة (المنحنى رقم ٣ شكل ١٨-٨).

لثر التعرض لدرجات الحرارة العالية Effect Of Exposure To Extreme Heat :

التغيرات الفسيولوجية التي تحدث للإنسان عند تعرضه للحرارة المرتفعة تختلف باختلاف مدة التعرض وسوف نناقش بإذن الله التغيرات التي تحدث للرجال خلال يومين من تعرضهم للحرارة المرتفعة وهي:

١- زيادة حجم بلازما الدم Plasma volume كنتيجة لنقص السوائل البين خلوية Interstitial fluids وانتقالها إلى مجرى الدم. وبعد عدة أيام تكون الزيادة في حجم الدم وصلت إلى حوالي ٢٠-٣٠٪ كما تزداد عدد كريات الدم الحمراء. ويلاحظ أن هذه التغيرات لا تحدث في الدم إذا كان التعرض لدرجات الحرارة العالية لفترات قصيرة كل يوم ولكنها تحدث عند التعرض لدرجات حرارة عالية لفترات طويلة كل يوم.

وبعد التعرض لدرجات الحرارة العالية يبدأ الإنسان في العرق وفي حالة عدم تعويض الإنسان عن الماء المفقود في العرق يسبب ذلك نقص في حجم الدم لكن هذا النقص راجع أساساً لنقص ماء H₂O الدم ولذا تزداد لزوجة Viscosity الدم مما يسبب عبء إضافي Additional load على القلب.

٢- ولو حدثت زيادة في درجة حرارة جسم الإنسان كنتيجة لإرتفاع الحرارة المحيطة به يزداد معدلات استهلاك الأوكسجين Oxygen consumption وذلك كنتيجة للتأثير المباشر على الخلايا وأيضا لزيادة التهوية Ventilation.

٣- تبدأ ظهور حالة نقص سكر الدم Hypoglycemia وأعراضها نقص معدل التمثيل الأساسي (القاعدي) Basal Metabolic Rate (BMR) وسببها نقص إفرازات الغدة الدرقية من T₃ و T₄ كنتيجة لنقص إفراز هرمون TSH من النخس الأمامي للخلفية.

٤- يحدث نقص في المحتوى المائي الكلي للجسم Some degree of dehydration وذلك كما أوضحنا سابقاً أنه في حالة الإنسان فإنه عندما يفقد ماء نتيجة تعرضه للحرارة العالية فإنه لا يستعوض كل الماء المفقود عند الشرب ولذلك تبقى كمية من الماء مفقودة لم تستعوض بعد. أما لو كانت كميات مياه الشرب غير كافية فسوف تحدث الـ Dehydration بسرعة لأنه في هذه الحالة يحدث العرق بكميات كافية بصرف للنظر عن الـ Dehydration ولو استمرت حالة الـ Dehydration هذه

يمكن أن تصل إلى ٨-١٠-١١ إلى ١٢٪ نقص من وزن الجسم (أي كمية الماء المفقودة بالنسبة لوزن الجسم) والإنسان عندما يفقد ٢٪ من وزن جسمه يزداد إحساسه بالعطش الشديد وعندما يفقد ٤٪ من وزن جسمه يجف الفم (تحدث حالة جفاف الفم والحلق أو البلموم) وعند ٦٪ فقد من وزن الجسم يكون الإحساس بالعطش وجفاف الفم والحلق حاد جداً وعند ٨٪ Dehydration يتف عمل الغدد اللعابية Salivary glands أى يتوقف إفراز اللعاب وبذا تصعب عملية الكلام لأن اللعاب يساعد على الكلام وعند ١٠٪ & ١١٪ Dehydration يصعب على الإنسان السيطرة على نفسه أما عند ١٢٪ Dehydration فهذا يجب إعطاءه الماء ليس عن طريق الشرب لحسب ولكن يملأ الماء عن طريق الوريد أو عن طريق الحقن في المعدة أو فتحة الشرج حيث أنه لا يستطيع إستعمال كميات المياه اللازمة كما سبق ذكره.

مذا وقد أوضح Adolph أن الإنسان يستطيع تحمل الـ Dehydration حتى ١٢٪ نقص في وزن جسم أما نلسن فقد أوضح أن الإنسان يموت عند ١٨٪ إلى ٢٠٪ نقص في وزن الجسم كنتيجة للـ Dehydration.

٥- ومع زيادة الـ Dehydration في الإنسان ترتفع درجة حرارة الجسم فقد وجد أنه عند ١٠٪ Dehydration ترتفع درجة حرارة الجسم بمقدار ٢°م (2°C) أى من ٣٧°م.

٦- كما أنه من المعروف منذ حوالي ٢٠٠ سنة أن التعرض لدرجات الحرارة المرتفعة يزيد الـ Pulse rate.

٧- كما أن حجم البول Urine volume ينقص في الجو الحار بالمقارنة بالجو المعتدل. حيث يزيد تركيز البول في الجو الحار بقدر الإمكان حتى يتمكن الإنسان من التخلص من أكبر قدر ممكن من المواد الغير مرغوبة بالجسم.

٨- كما أنه عند تعرض الإنسان للحرارة العالية يحدث في الأيام الأولى (الأول والثاني تقريباً) إتساع للأوعية الدموية الموجودة بالاطراف (الجلد) وبالتالي يزداد تدفق الدم للأطراف حتى يتمكن الإنسان من فقد الحرارة عن طريق الحمل والتوصيل Conduction & Convection ولذلك فعلى العكس في حالة البرد Cold تحدث حالة Vasoconstriction أو Constriction of skin vessels وبالتالي يقل تدفق الدم للجلد وبالتالي تقل درجة حرارة الجلد ويقل الفرق بينها وبين حرارة الجو المحيط وبالتالي يقل فقد الحرارة أى أن عملية الـ Vasoconstriction & vasodilat هما عبارة عن آليات للتأقلم Adaptive mechanisms للجو البارد والجو الحار على التوالي.

ومما هو جدير بالذكر أن معدل ضربات القلب في الإنسان يزداد عند تعرضه لدرجات حرارة عالية خاصة إذا استمر نقص الماء من جسمه Dehydration والزيادة في معدل ضربات القلب يمكن

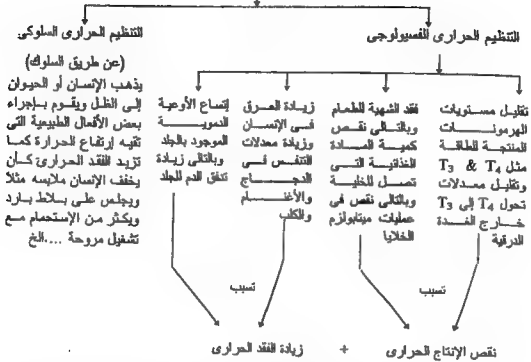
أن تصل إلى حوالي ٤٠٪ عند نسبة ٨٪ Dehydration وبالتالي قلن النقص في حجم الدم في الضربة الواحدة من ضربات القلب تكون متفرقة مع الزيادة في ضربات القلب مما يسبب إستمالة الـ Cardiac Out put ثابتا لا يتغير

مما سبق يتضح أن الإنسان إذا أراد أن يقاوم أو يستطيع العمل في Extreme heat فيجب أن تكون دورته الدموية سليمة أو بمعنى آخر أن يذهب جسمه الدوري سليم Healthy circulatory system.

التنظيم الحراري Thermoregulation . بلطات النسبي (التوازن الداخلي Homeostasis) درجة حرارة جسم الإنسان أو الحيوان يتم تنظيمه بطريقتين هما: ١- التنظيم الحراري السلوكي Behavioral thermoregulation و ٢- التنظيم الحراري الفسيولوجي Physiological thermoregulation.

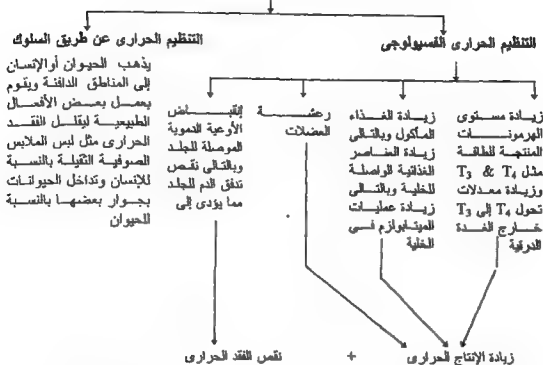
والشكل ١٨-٩ يوضح طرق وآليات التنظيم الحراري أثناء التعرض لدرجات الحرارة العالية Heat stress or higher environmental temperatures والشكل ١٨-١٠ يوضح طرق وآليات التنظيم الحراري أثناء التعرض للصدمة الباردة Cold chock or lower environmental temperatures.

التعرض لدرجات الحرارة المرتفعة



شكل (١٨-٩) : الشكل يوضح أن الإنسان أو الحيوان أثناء تعرضه لدرجات الحرارة المرتفعة يقوم بعمل نوعين من التنظيم الحرارى هما التنظيم الحرارى الفسيولوجى والتنظيم الحرارى السلوكى ليزيد الفقد الحرارى وينقص الإنتاج الحرارى حتى يحافظ على الإتزان الداخلى لدرجة حرارة جسمه.

التعرض لدرجات الحرارة المنخفضة أو الصدمة الباردة



شكل (١٨-١٠) : الشكل يوضح أن الإنسان أو الحيوان أثناء تعرضه للصدمة الباردة يقوم بعمل نوعين من التنظيم الحرارى هما التنظيم الحرارى الفسيولوجى والتنظيم الحرارى السلوكى ليزيد الإنتاج الحرارى وينقص الفقد الحرارى .

العلاقة ما بين درجة الحرارة المحيطة بالحيوان والحيوان Relation between environmental temperature and the animal

المحيط بالحيوان تسبب (اختلافات موسمية أيضا فى الطاقة الناتجة من عمليات التمثيل Energy metabolism وتتأثر Production وإنتاجية هذه الحيوانات والطريقة التى تؤثر بها درجة الحرارة على الصفات السابقة تتم عن طريق سلسلة من التفاعلات فى الجهاز العصبى - الهرمونات - الانزيمات والتى تتحكم فى النشاط الوظيفى لكل أجهزة الجسم. وتنقسم الحيوانات إلى نوعين حسب تأثيرها بدرجة الحرارة المحيطة : ١- ذوات الدم البارد Poikilotherms. ٢- ذوات الدم الحار Homeotherms.

ذوات الدم البارد Poikilotherms : وفى هذه الحالة فإن درجة حرارة جسم الحيوان تختلف إيجابيا مع درجة الحرارة المحيطة بالحيوان فعد إرتفاع درجة الحرارة المحيطة بالحيوان ترتفع درجة

حرارة الجسم وبالتالي تنشط العمليات البيولوجية به وعند انخفاض درجة الحرارة المحيطة بالحيوان تنخفض درجة حرارة جسمه وبالتالي يقل نشاط كل العمليات البيولوجية في جسمه ومن أمثلة هذه الحيوانات هي الأسماك أو كل الحيوانات التي تعيش في المياه لذلك نجد أن الأسماك تهاجر من درجات الحرارة الغير ملائمة لها إلى مياه تكون درجات الحرارة المحيطة بها ملائمة لها - إذ تتميز بعضها بخاصية البيات الشتوى Hypernation.

٢- ثوابت الدم الحار Homeotherms : وهذه تحتفظ بدرجة حرارة جسمها ثابتة تقريبا. وبالرغم من اختلاف درجة حرارة الجو المحيط بها فعند ارتفاع درجة حرارة الجو مثلاً تقوم هذه الحيوانات بالتخلص من الحرارة عن طريق التنفس Respiratory evaporation أو العرق Perspiration... الخ أى أن هذه الحيوانات تقوم بالمحافظة على درجة حرارة جسمها ثابتة تقريبا بصرف النظر عن التغيرات في درجة حرارة الجو المحيط بها.

الباب التاسع عشر

الأجهزة الحسية

The Sensory Systems

ملكمة Introduction :

الجهاز الحسى A Sensory System هو عبارة عن جزء من الجهاز العصبى. هذا الجزء يتكون من مستقبلات حسية **Sensory receptors** تستقبل التنبيه من البيئة الداخلية فى جسم الإنسان أو من البيئة الخارجية المحيطة به. بالإضافة إلى هذه المستقبلات فالجهاز الحسى يتكون أيضا من المسالك العصبية **Neural pathways** والتي تقوم بنقل المعلومة من المستقبلات الحسية إلى المخ (الدماغ) **Brain**. كما يحتوى الجهاز الحسى أيضا على تلك الأجزاء من المخ والتي تقوم بتجهيز وترجمة تلك المعلومة.

وكما ذكرنا من قبل فالجهاز العصبى هو الذى يجعل الإنسان يستجيب للمنبهات الداخلية والخارجية ويتعامل معها حيث يستقبل الجهاز العصبى المركزى **CNS** معلومات فى صورة نبضات حسية **Sensory impulses** من المستقبلات ويتعامل مع هذه المعلومات حيث يقوم بتفزيين بعض هذه المعلومات فى الذاكرة كما يمكن أيضا أن يتم تجاهل أو إعتراض سبيل هذه المعلومات. كما أن بعض من هذه النبضات الحسية قد تثير إستجابات فسيولوجية معينة مثل زيادة ضربات القلب كنتيجة لروية شئ مخيف مثلا. أى أن الدماغ **Brain** يستجيب لهذه النبضات الحسية حيث يرسل نبضات عصبية على إمتداد الأعصاب إلى الأعضاء المستجيبة أو المنفذة **Effectors** وقد تكون هذه الأعضاء المستجيبة عدد أو عضلات ... الخ. وبالتالي فهناك نوعين من النبضات هما : نبضات حسية **Sensory impulses** وهذه تنتقل إلى الجهاز العصبى للمركزى من المستقبلات الحسية فى الجسم حيث تسبب إحداث النوع الثانى من النبضات وهو النبضات الحركية **Motor impulses** وهذه النبضات تنتقل بعيدا عن الجهاز العصبى للمركزى إلى الغدد والعضلات والأعضاء. ونوعية النبضات الحركية هذه تعتمد على الذاكرة المخزنة فى المخ (الدماغ) **Brain** ولإيضاح ذلك نسوق المثال التالى: لو حدث مثلا أن رأيت أنت ثعبان فى الحجرة فسوف تجرى خارجها ويزداد ضربات قلبك كنتيجة لإرتفاع هرمونى الإبينفرن والنور إبينفرن **NE & E**، كما سوف يقل توارد الدم أيضا إلى الجلد (إصفرار الوجه فى حالة الخوف) ... الخ. وكل ما حدث لك بعد أن رأيت الثعبان عبارة عن نبضات

حركية معتمدة على النبضة الحسية وهى رؤية الثعبان. أما لو كان هناك طفل صغير لا يعرف للثعبان أصلاً ورأى هذا الثعبان فى الحجرة فسوف يقترب منه ويحاول أن يلعب معه. وبالتالي فالنبضة الحسية هنا نشطت مركز السعادة فى دماغ هذا الطفل. وإختلاف النبضة الحركية هنا (بالرغم من تساوى النبضة الحسية) يرجع إلى لترجمة التى تعتمد أصلاً على الذاكرة المخزنة فى الدماغ. وبخاصة القول أن النبضة الحسية تتحول إلى نبضة حركية وفى معظم الأحوال فإن نوعية النبضة الحركية هذه تعتمد على الذاكرة للمخزنة فى الدماغ Brain.

والمعلومة المعاملة بالجهاز الحسى Sensory system قد تزدى أو قد لا تزدى إلى الشعور بإدراك التكتيبه الوارد لهذا الجهاز.

ومع إعمال الأحوال الجوية فالمعلومة التى تصل إلى مراكز الشعور أو العوى يطلق عليها معلومة حسية Sensory information. ولو وصلت هذه المعلومة إلى مراكز الشعور أو العوى يطلق عليها فى هذه الحالة إحساس Sensation. وعملية فهم ماذا يعنى هذا الإحساس يطلق عليه الإدراك الحسى أو القدرة على الإدراك أو الفهم Perception. ومثلاً لذلك فالشعور بالألم يعتبر فى حد ذاته إحساس Sensation، أما معرفة أن هذا الألم ناتج عن ضرر موجود بالألم فهو إدراك حسى Perception. وهذا الإدراك الحسى يحدث كنتيجة للتعامل العصبى مع المعلومة الحسية. وكيفية التعامل العصبى مع المعلومة الحسية لإظهار الإدراك الحسى غير معروفة بطريقة مكتملة حتى الآن. وقليل جداً من المعلومات الخاصة بمراحل هذا التعامل النهائية قد تم إيضاحه عن طريق بعض العلماء، لكن ما زال هناك الكثير من المعلومات التى لم تعرف بعد.

ويذهبى جداً أن الأجهزة الحسية بالجسم تعمل إلى حد ما كآى جهاز كهبرى. وحتى يمكننا إيضاح ذلك يمكن مقارنة جهاز التليفون بالأجهزة الحسية السمعية عندنا. فـجهاز التليفون يقوم بتحويل الموجات الصوتية إلى نبضات كهربائية والتى تنتقل عن طريق أسلاكه إلى التليفون المستقبل حيث يقوم هذا التليفون المستقبل بتحويل وإعادة تلك النبضات الكهربائية إلى موجات صوتية مرة أخرى. وبالتالي فهذه تشابه جزئى بين التليفون والمخ فى أن الإثنين نقلوا المعلومة الحسية السمعية إلى المستقبل. أما الاختلاف الرئيسى بينهما فهو أن التليفون قام بتحويل النبضات الكهربائية إلى موجات صوتية، أى أنه قام بتحويل شفرة Code كهربائية إلى موجات صوتية، أما المخ فهو لا يقوم بتحويل الشفرة الكهربائية إلى صوت، ولكن المعلومة المشفرة Code information نفسها أو أى أشياء أخرى ذات علاقة بهذه المعلومة (لاحظ أن جميعها أشياء ناتجة عن لفعال الجهد) هى التى تم تحويلها إلى صوت. حيث لا يقوم المخ بتحويل النبضات الكهربائية إلى أصوات.

المستقبلات Receptors : تحدثنا في الباب الخامس من هذا المرجع عن نوع من المستقبلات المعتمدة بالاتصالات الكيماوية بين الخلايا والتي هي عبارة عن مواقع ارتباط (عبارة عن بروتينات متخصصة Specific proteins) توجد إما على أغشية الخلايا الهدف أو داخلها والتي يرتبط بها الرسول الكيماوي لإظهار أثره البيولوجي.

لما مستقبلات التي تحدث عنها في هذا الباب فهي المستقبلات الموجودة في الجهاز الحسي والتي هي عبارة عن نهايات خلايا عصبية طرفية متخصصة توصل للدخل (نحو المركز)، أو هي خلية منفصلة تشترك في ذلك بطريقة قوية حيث تكتشف التغيرات في بعض الظروف البيئية.

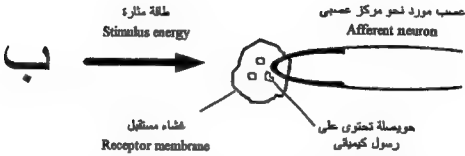
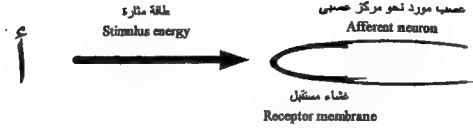
وتتشبط الجهاز العصبي يبدأ عند الحد الفاصل بين الجهاز العصبي والأشياء المحيطة The world outside بهذا الجهاز وذلك عن طريق المستقبلات الحسية Sensory receptors حيث توجد بعض من هذه المستقبلات والتي تستجيب للتغير في البيئة الداخلية للجسم. ومن أمثلة الأشياء المحيطة بالجهاز العصبي The world outside هي الأوعية الدموية المملوءة بالدم والموجودة بأجسامنا.

والمعلومات التي تعطيها أي من الأشياء المحيطة بالجهاز العصبي أو البيئة الداخلية للجسم موجودة على هيئة صور مختلفة من الطاقة Energy من هذه الصور: الضغط والحرارة والضوء والموجات الصوتية الخ.

والمستقبلات الموجودة على نهايات الأعصاب الموردة نحو المركز العصبي Afferent neurons تقوم بترجمة صور الطاقة السابق ذكرها إلى تدرج الجهد Graded potential والتي تسبب البدء في إحداث جهد للفعل Action potential حيث يرحل (ينتقل) جهد الفعل إلى الجزء الأخير والبعيد من الجهاز العصبي المركزي. وهذه المستقبلات إما أن تكون نهايات متخصصة من أعصاب موردة نحو للمركز العصبي (شكل ١٩-١) أو خلايا منفصلة تؤثر على الأعصاب الموردة نحو المركز (شكل ١٩-١ب).

وبصرف النظر (أو مع أمثال) للصورة الأصلية للطاقة فالمعلومة الموجودة على المستقبل الذي يصل الجهاز العصبي بما حوله يجب أن تترجم إلى لغة تدرج الجهد أو إلى جهد الفعل.

وصور الطاقة التي تستخدم مع المستقبل Receptor وتنشطه تعرف بالمثير أو المثير Stimulus. أما العملية التي يتحول فيها هذا التنبيه (سواء كان في صورة وحدات كم ضوئي photo أو في صورة ضوء أو موجات صوتية أو شد عضلي... الخ) إلى استجابة كهربائية على المستقبل لتعرف بعملية تحول طاقة المؤثر أو المثير إلى استجابة Transduction.



شكل (١٩-١) : يجرى توضيح المستقبلات الموردة نحو مركز عصبي Afferent receptors. فانشاء الحساس الذي يستجيب للمنبه إما أن يكون أ- لهية عصب مورد نحو مركز عصبي (الشكل أ) أو ب- أن يكون انشاء الحساس موجود في غاية مجاورة للعصب المورد نحو المركز العصبي (الشكل ب).

وهناك العديد من المستقبلات المختلفة أو المتنوعة والتي يكون كل نوع منها متخصص لطاقة مثارة (الصورة من صور الطاقة) بدرجة أكبر من غيرها. ونوع الطاقة التي يستجيب لها المستقبل وظائفاً بدرجة طبيعية تسمى بالمنبه الكافي أو المنبه الملائم Adequate stimulus.

ومعظم المستقبلات ذو حساسية عالية جداً لصورة أو نوع الطاقة المتخصصة لها (أي لصورة الطاقة التي تؤثر في هذه المستقبلات). ومثالاً لذلك لمستقبلات الشم Olfactory receptors يمكنها أن تستجيب لكمية قليلة جداً تقدر بحوالى ثلاثة إلى أربعة من الجزيئات ذو الرائحة Odourous molecules الموجودة في هواء الشهيق. وأيضاً المستقبلات البصرية Visual receptors يمكن أن تستجيب لكمية قليلة جداً من الضوء تقدر بوحدة واحدة من وحدات الكم الضوئي Photon.

جهد المستقبلات The Receptor Potential : يمكن أن يطلق عليه أيضاً الجهد الكهربائى للمستقبلات. ولإيضاح ذلك فالمعروف أن عملية تحول الطاقة المؤثرة إلى إستجابة Transduction

process في جميع المستقبلات تتضمن فتح أو غلق قنوات أيونية في مستقبل خاص بنشاء الخلية حيث يتلقى هذا المستقبل معلومات من البيئة الخارجية المحيطة بالخلية. وهذه القنوات الأيونية الخاصة لا توجد على المحاور المألوفة لغشاء الخلية. والتغير في القنوات الأيونية يسمح بتغير أيضا في للتغيرات الأيونية عبر غشاء الخلية والذي يسبب بدوره إلى تغير في جهد الغشاء، وهذا التغير في جهد الغشاء يعتبر جهد - ر ج Graded potential وبالتالي فهو يطلق عليه جهد المستقبلات أو الجهد الكهربى للمعدنات Receptor potential وفى بعض الأحيان يطلق عليه الجهد المولد Generator potential. هذا وهناك العديد من الآليات المختلفة والتي تؤثر بها النماذج المختلفة من المستقبلات الحسية على القنوات الأيونية Ion channels.

الحواس الخاصة والحواس العامة : The General And Special Senses

القدرة على إدراك الفرد للبيئة التي حوله والاستجابة للمتغيرات التي تحدث في هذه البيئة يحتاج إلى جهاز مراقبة أو جهاز إكتشاف. هذا الجهاز يكتشف المتغيرات البيئية أو يراقبها ويستجيب لها. بالطبع هذا الجهاز يمكن تشبيهه بالأجهزة الحكومية عالية التخصص والموجودة في الدول المتقدمة جدا حيث تراقب هذه الأجهزة التغيرات التي تحدث بهذه الدول وتستجيب لها على الفور.

وجهاز المراقبة أو الإشراف The surveillance system الموجودة بجسم الإنسان [لاحظ أنه مشابه لكل أجهزة المراقبة الموجودة في عدد من الحيوانات الأخرى] يتكون من عدد من المستقبلات Receptors التي تكتشف كل الظروف الداخلية والخارجية بجسم الإنسان أو الحيوان. وبالطبع فهذه المستقبلات توجد في جسم الإنسان موزعة بطريقة إستراتيجية في كلا من الجلد Skin والأعضاء الداخلية Internal organs والمظام Bones والمفاصل Joints والمعضلات Muscles. هذه المستقبلات الموجودة في كل هذه الأماكن تقوم بإكتشاف التنبيه Stimuli مما يؤدي إلى ظهور الحواس العامة General Senses وهي : الوجدع أو الألم Pain والحرارة Temperature واللمس الخفيف Light touch والضغط Pressure والإحساس بموضع الجسم والأطراف The sense of body and limb position.

وجسم الإنسان يمتلك أو مرهوب بخمسة حواس إضافية وهذه الحواس تعرف بالحواس الخاصة Special Senses وهي : حاسة التذوق Taste وحاسة الشم Smell وحاسة البصر أو الرؤية Vision وحاسة السمع Hearing وحاسة التوازن أو الاتزان. وهذه الحواس موجودة

بجسم الإنسان كنتيجة لوجود أعضاء حيوية معقدة جسمه وهذه الأعضاء عالية التطور مثل العين واللسان.....الخ.

وفى الإنسان توجد المستقبلات المسؤولة عن كلاً من الإحساس العام والإحساس الخاص فى خمسة فئات (مجاميع) وظرفية هى :

١- مستقبلات ميكانيكية **Mechanoreceptors** : وهى المستقبلات التى تنشط عن طريق التنبيه الميكانيكى **Mechanical stimulation** ومن أمثلة ذلك الإحساس باللمس أو الضغط.

٢- المستقبلات الكيميائية **Chemoreceptors** : وهى للمستقبلات التى تنشط بواسطة المواد الكيميائية الموجودة فى الغذاء الذى يتناوله الإنسان أو بواسطة الكيماويات الموجودة فى الهواء الذى يستنشقه الإنسان أو الكيماويات الموجودة فى الدم.

٣- المستقبلات الحرارية **Thermoreceptors** : وهذه المستقبلات تنشط بواسطة الحرارة والبرودة.

٤- المستقبلات الضوئية **Photoreceptors** : وهى مستقبلات حساسة للضوء.

٥- مستقبلات الألم **Nociceptors** : وهى المستقبلات التى تنشط كنتيجة لثلف الأنسجة **Tissue damage** مثل ثلف الأنسجة الذى يحدث كنتيجة للحروق والتمزق والقرص والذغ والسع....الخ.

الحواس العامة **The General Senses**

لكى تستوضح مفهوم الحواس العامة أسند ظهرك على ظهر الكرسي الذى تجلس عليه ثم أغمض عينيك لدقائق وركز بعقل فى إحساسك العام فسوف تكتشف أو تشعر بضغط قاعدة الكرسي على موضع اتصال (إرتكاز) جسمك على الكرسي كما يمكنك أيضاً إكتشاف أو الشعور ببعض الحرارة المنبثقة من المصباح الكهربى الخاص بالقراءة الموجودة بجوارك كما يمكن أيضاً أن تشعر بلمس شعر القطة لو قفزت لتجلس بجوارك. كما يمكن أيضاً أن تشعر بالألم كنتيجة لوجود بعض الغازات بأسمائك. وهذه الغازات ربما تكون ناتجة من الطعام الذى تناولته أمس. ثم قم بعد ذلك بتحريك زراعك وأنت مغمض العينين فسوف ينتابك إحساس بأن زراعك يتحرك بالرغم من أنك لا تراه (لأنك مغمض العينين). وكل هذه الأحاسيس المختلفة السابقة والتى أحسست بها تنتمى جميعها إلى مجموعة الحواس العامة **General senses**. والسبب فى حدوث هذه الأحاسيس هو أن مستقبلات الحواس العامة **Receptors for the general senses** قامت بإكتشاف التنبيه الداخلى والخارجى ثم قامت هذه المستقبلات بإرسال هذه المعلومات عن طريق الأعصاب الحسية **Sensory nerves** إلى المخ (الدماغ) **Brain** والحبل الشوكى **Spinal cord** (راجع الجهاز العصبى).

والإحساس الداخلى للجهاز العصبى المركزى CNS يمكن أن يظهر إستجابة أخرى معينة ومثالا لذلك فعندما تلمس القطة ذنبك تمد يدك لتداعبها.

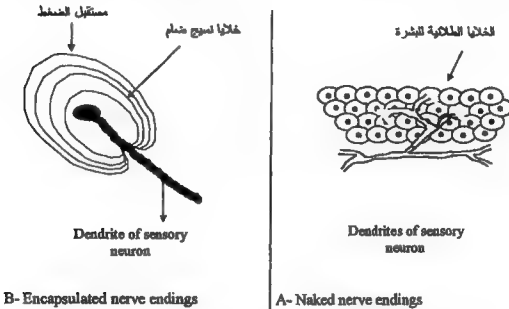
كما أن بعض المنبهات يمكن أن تسبب إستجابة للمقل الباطن (المقل اللاواعى). ومثالا لذلك فالتعرض للجو الحار يسبب إفراز العرق والتعرض للجو البارد يسبب الرعشة.

والمستقبلات الخاصة بالحواس العامة فى الجسم متعددة الأشكال والأحجام لكنها عموما تقع

جميعها تيماً لتوزيعها فى مجموعتين هما : أ- نهايات الأعصاب الغير مغطاه Naked nerve

endings، ب- والمستقبلات المتكبسة (الموجودة داخل كبسولات) Encapsulated receptors (شكل

١٩-٢).



شكل (١٩-٢) : الشكل يوضح أن مستقبلات الحواس العامة إما أن تكون Naked nerve endings أو أن تكون Encapsulated nerve endings.

أ- نهايات الأعصاب الغير مغطاه Naked Nerve Endings :

هذه المستقبلات توجد فى الجلد والعظام وأعضاء الجسم الداخلية كما توجد أيضاً داخل وحول المفاصل. وهذه المستقبلات هى عبارة عن النهايات الطرفية للتفرعات الشجرية Dendrites للخلايا الحسية العصبية Sensory neurons. وهذه المستقبلات تختص على الأكل بثلاثة أنواع من الحواس هى : الألم والحرارة واللمس الخفيف وبالتالي فأنواع هذه المستقبلات هى مستقبلات الألم

Nociceptors والمستقبلات الحرارية Thermoreceptors والمستقبلات الميكانيكية
Mechanoreceptors.

الألم Pain :

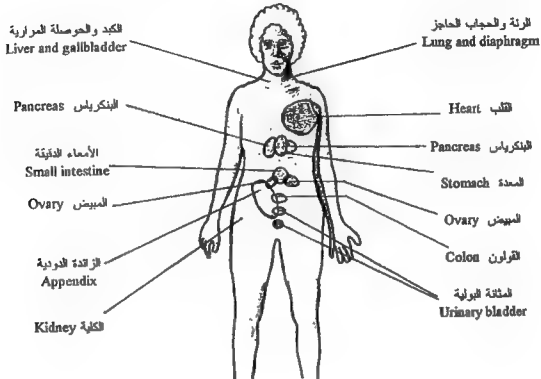
يُقسم علماء الفسيولوجى الألم إلى نوعين أساسيين هما ١- ألم جدارى أو متعلق بجدار الجسم
Somatic pain، ٢- ألم أحشائى Visceral pain.

١- **الألم الجدارى أو المتعلق بجدار الجسم Somatic Pain** : هذا الألم ينتج عند تنبيه
المستقبلات الموجودة فى الجلد والمفاصل والعضلات والأربطة كنتيجة لحثوث تلف نسي هذه الأنسجة.
وهذه المستقبلات تنبه وبالتالي تنشط وتستجيب لمديد من المنبهات. فبعض من هذه المستقبلات يستجيب
للتقطع Cutting الذى يحدث للأنسجة، وبعضها يستجيب لهرس أو سحق الأنسجة وبعضها يستجيب
للذع أو قرص التمزيع الجلدى، كما أن بعضها يستجيب للحرارة والبرودة، كما أن بعضها يستجيب
للكيماويات المهيجة والتي تفرز من الأنسجة المجروحة.

٢- **الألم الأحشائى Visceral Pain** : هذا الألم يحدث كنتيجة لتنبيه نهايات الأعصاب الغير
مغطاة فى أعضاء الجسم الداخلية (الأحشاء) Naked nerve endings in body organs وفى بعض
الأحشاء الداخلية يتم تنبيه مستقبلات الألم عن طريق إبتدخال هذه الأعضاء ومثالا لذلك ألم الأمعاء الذى
يحدث كنتيجة لامتلاء الأمعاء بالغازات الأمر الذى يؤدي إلى حدوث شد فى جدر الأمعاء مما يسبب شد
للألياف العصبية الغير مغطاة (مستقبلات الألم) Naked nerve fibres وهذه تستجيب للشد وتظهر
الإحساس بالألم. وهذه النهايات العصبية عبارة عن مستقبلات ميكانيكية Mechanoreceptors.
بالإضافة إلى ذلك ففى بعض الأعضاء الأخرى يتم تنبيه مستقبلات الألم عن طريق نقص الأكسجين
الواصل للأنسجة Anoxia وهو ما يحدث عند ظهور الأم ذبحة القلب Heart attck الناتجة عن نقص
الأكسجين الواصل إلى عضلة القلب Heart muscle.

والمعروف أن الألم الجدارى (ألم جدار الجسم) يمكن تحديد الموقع المسبب له بسهولة. بخلاف
الألم الأحشائى فهو غامض وغير واضح وصعب للتحديد حيث يظهر الألم فى موقع بعيدا لمسافة قليلة
عن موقع الإصابة (أو الموقع المسبب لامتلاء الألم) ومثالا لذلك فالألم الناتج عن نقص وصول الأكسجين
لعضلة القلب يظهر فى الصدر وعلى طول الجانب الداخلى لليد اليسرى. (شكل ١٩-٣). والألم
الأحشائى الذى يظهر بعيدا عن موقع الإصابة المسببة له (شكل ١٩-٣) يطلق عليه ألم راجع إلى
Referred pain وإلى الآن لم يستطع علماء فسيولوجى الحيوان أو الإنسان من تفسير ظاهرة
حدوث الألم بعيدا عن الموقع المسبب له، إلا أن هناك اعتقاد سائد بين كثير من العلماء بأن الألياف

العصبية المختصة بالألم Pain fibers والمنبثة من أعضاء الجسم الداخلية تدخل إلى الحبل الشوكي في نفس الموقع الذي تدخل منه الألياف الحسية الآتية من الجلد ويفترض هؤلاء العلماء أن المخ (الدماغ) Brain في هذه الحالة يترجم (يفسر) النبضات الآتية له من الأعضاء عن طريق الـ Pain fibers المنبثة لهذه الأعضاء إلى ألم تأتي من منشأ جداري (على جدار الجسم) Pain from a somatic source.

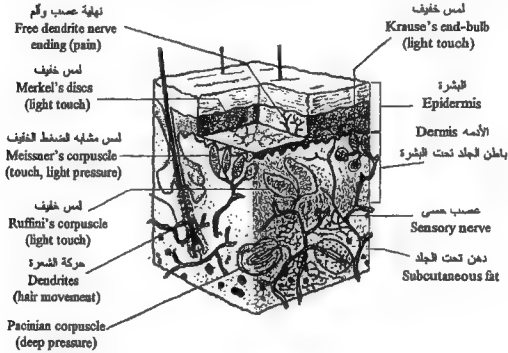


شكل (١٩-٣) : الشكل يوضح ظاهرة ظهور الألم الأحشائي في موقع على الجسم بعيداً عن منشأ وهو ما يسمى بظاهرة Referred pain ويظهر في الشكل أن الألم الأحشائي يظهر على سطح الجسم في موقع بعيداً بعض الشيء عن منشأه.

اللمس الخفيف Light Touch :

يتم إدراك حاسة اللمس الخفيف عن طريق المستقبلات الميكانيكية Mechanoreceptors وهذه المستقبلات توجد متميزة في موقعين تشريحيين هما : ١- المستقبلات الأولى توجد عند قاعدة بصيلة

الشعر. Hair follicle الموجودة في الجلد (شكل ١٩-٤) فعند تحريك الشعر عن طريق اللمس الخفيف يتم تنبيه هذه الألياف العصبية. ٧- أما المستقبلات الميكانيكية لللمس الخفيف التنبؤية فمسمى Merkel's Disc وهذه تتكون من خلايا صغيرة فنجانية الشكل تتصل بنهايات الأعصاب الغير مغطاء Naked nerve endings وهذه المستقبلات توجد في الطبقة الخارجية لبشرة الجلد (شكل ١٩-٤) وهذه المستقبلات تنشط عن طريق الضغط الخفيف الذي يقع على سطح الجلد.



شكل (١٩-٤) : الشكل يوضح المواقع التشريحية لإثنين من المستقبلات الميكانيكية Mechanoreceptors لللمس (اللمس الخفيف).

الحرارة Temperature :

النهايات العصبية الغير مغطاء Naked nerve endings في الجلد تقوم باكتشاف كلا من الحرارة والبرودة. فالمستقبلات الحرارية Heat receptors تستجيب للحرارة في الإنسان من ٣٠°م إلى ٤٥°م. أما لو زادت درجة حرارة الجلد عن هذا المدى فيؤدي ذلك إلى تنشيط مستقبلات الام Pain receptors حيث تخلق شعور وإحساس بإحتراق الجلد. أما بالنسبة لمستقبلات البرودة Cold receptors فهي تستجيب لدرجات حرارة من ١٠°م إلى ٢٠°م ولو إنخفضت درجة الحرارة عن ١٠°م فهذا يؤدي إلى إستجابة مستقبلات الألم.

ب- للمستقبلات المتكبسة (الموجودة داخل كبسولات) Encapsulated

Receptors : هذه المستقبلات تتكون من نهايات أعصاب غير مغطاة مغلفة بطبقة أو أكثر من الخلايا. وأكبر هذه المستقبلات Encapsulated nerve endings هي المسماء بالـ Pacinian corpuscle (شكل ١٩-٤) والتي تتكون من Naked nerve ending محاطة بكثير من الخلايا المتعددة المركز وتقع في الطبقات العميقة من الجلد في النسيج الضام المفكك (المتحرك) Loose connective tissue للجسم وفي أماكن أخرى. ومستقبلات الـ Pacinian corpuscles تنبه بواسطة الضغط مثل الضغط الذي يحدث عندما تجلس على الكرسي. وهناك نوع شائع آخر من المستقبلات وهي مستقبلات Meissner's corpuscle (شكل ١٩-٤) وهي أصغر من مستقبلات Pacinian corpuscle.

ومستقبلات Meissner's corpuscle بيضاوية الشكل وتحتوي على إثنتين أو ثلاثة من النهايات للفرعية الشجرية الحزونية والمغلفة بغلاف رقيق من الخلايا (شكل ١٩-٤). وهذه المستقبلات يعتقد أنها مستقبلات ميكانيكية Mechanoreceptors فهي تستجيب للمس الخفيف وتقع مباشرة تحت طبقة الخلايا الطلائية الموجودة في طبقة الأدمة Dermis.

ومستقبلات Meissner's corpuscles موجودة بوفرة في الأجزاء الحساسة من الجسم مثل الشفايف Lips وحواف الأصابع.

وهناك نوعين آخرين من الـ Encapsulated receptors وهما : الـ Krause's end bulbs والـ Ruffini's corpuscles ومعظم الباحثين يعتقدوا أن هذه المستقبلات تنبه عن طريق للمس الخفيف وهي مختلفة في تركيبها عن مستقبلات Meissner's corpuscles.

التأقلم Adaptation : التأقلم المقصود هنا هو ليس التأقلم الناتج عن عملية التطور Evolution والذي سبق أن تحدثنا عنه في الباب الثامن عشر. وعلى ذلك فظاهرة التأقلم هنا تعني أن كثير من المستقبلات توقف إرسال النبضات بعد فترة من الوقت بالرغم من استمرار تعرضها لنفس المنبه. فمستقبلات الألم والحرارة والضغط جميعها تحدث لها ظاهرة التأقلم هذه حيث تتوقف فيها المستقبلات الحسية Sensory receptors عن إرسال النبضات بعد فترة زمنية من تعرضها للمنبه وبالرغم من استمرار تعرض هذه المستقبلات لنفس المنبه. ومثالا لذلك فعندما يضع الإنسان خاتم أو دبلة في أصبع يده يحس به لمدة عدة أيام ثم بعد ذلك يختفي هذا الإحساس. والذي حدث هنا هو أن مستقبلات الضغط Pressure receptors توقفت عن إرسال النبضات أو بمعنى آخر أنها تعودت على ليس الخاتم أو كالألم له.

وهناك مستقبلات لا تحدث لها ظاهرة التكلم هذه مثل مستقبلات الشد الموجودة في العضلات Muscle stretch receptors والمستقبلات الذاقية الموجودة في المفاصل Joint proprioceptors والسبب في ذلك أن الجهاز العصبي المركزي CNS يجب أن يكون دائما على علم تام بطول العضلة وموضوع المفصل وذلك حتى تستخدم حالات الوقوف أو الجلوس....الخ التي عليها الجسم.

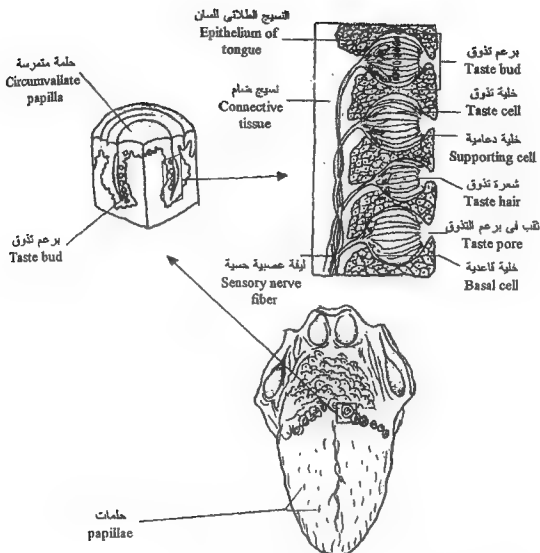
دور المستقبلات في عملية التوازن الداخلي The Role Of Receptors On Homeostasis : كثير من مستقبلات الحواس العامة تلعب دورا هاما في عملية التوازن الداخلي Homeostasis. ومثالا لذلك فالمستقبلات الميكانيكية Mechanoreceptors والتي تكتشف التغيرات في ضغط الدم تعمل على إستدامة ضغط الدم عند المستوى العادي أو الطبيعي، كما أن المستقبلات الكيميائية Chemoreceptors والتي تستجيب لتركيز الأيونات في الدم تعمل على إستدامة الإكزان المائي المناسب في الجسم عن طريق عدة آليات Mechanisms تقوم الكلية بمعظمها. وأيضا المستقبلات الكيميائية التي تكتشف مستوى ثاني أكسيد الكربون وتركيز أيون الهيدروجين في كلا من لدم وسائل المخ والنخاع الشوكي Cerebrospinal fluid تساعد على تنظيم التنفس.

الحواس الخاصة : The Special Senses

كما ذكرنا من قبل فالحواس الخاصة تشمل للتذوق والشم والروبا والسمع والإكزان ويجدر الإشارة هنا أن حاسي التذوق والشم هما حواس كيميائية Chemical senses.

١- حاسة التذوق Taste : براعم التذوق هي عبارة عن مستقبلات للتذوق Receptors for taste تستجيب للكيمائيات الذاتية في الغذاء (راجع الباب التاسع - اللسان - شكل ٩-٤). ففي الإنسان والتدييات يحتوي اللسان على مستقبلات للتذوق تسمى براعم التذوق Taste buds. وهذه المستقبلات ترى بالميكروسكوب ولها شكل يشبه البصلة وتقع في النسيج الطلائي الموجود على سطح اللسان وعلى الحلمات أو النتوءات الصغيرة Small protrusion (Papilla) الموجودة أيضا على سطح اللسان. كما توجد أيضا مستقبلات أو براعم للتذوق هذه ولكن بأعداد قليلة في سطح للجوف الفموي والبلعوم والحنجرة.

وبراعم التذوق عبارة عن مستقبلات كيميائية Chemoreceptors تنبه بواسطة الأيونات والجزئيات الموجودة في الغذاء حيث تذوب هذه الأيونات والجزئيات في اللعاب وبالتالي تستطيع الدخول في ثغور براعم التذوق (شكل ١٩-٥). وتقع براعم التذوق Taste pores هذه عبارة عن فتحات صغيرة تؤدي إلى داخل برعم للتذوق (شكل ١٩-٥).



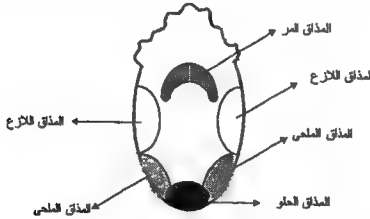
شكل (١٩-٥) : للشكل يوضح تركيب مستقبلات التذوق (راجع أيضا شكل ٩-٤)

وحاسة التذوق Sense of taste تتأثر إلى حد كبير بنقص الزنك Zinc deficiency في الغذاء حتى أن بعض الأفراد يفقدون حاسة التذوق كنتيجة لنقص الزنك في غذائهم. فقد أثبتت البحوث أنه بالرغم من وجود الزنك بكميات ضئيلة في اللعاب إلا أنه يقوم بتثبيته إنقسام الخلايا في براعم التذوق. وإستمرار إنقسام الخلايا في براعم التذوق هذه ضروري حتى تؤدي وظائفها وذلك لأن خلايا هذه البراعم لها خاصية الإضمحلال والتكوين من جديد Wear and tear. وبالتالي فنقص الزنك يؤدي إلى نقص في تكوين الخلايا الجديدة المطلوبة لتحل محل الخلايا التي إضمحلت أو قد يؤدي إلى إنقطاع تكوين خلايا جديدة مما ينتج عنه فقد لحاسة التذوق أو ضعف هذه الحاسة إلى حد كبير.

ويراعم التذوق **Tast buds** هذه حساسة للأربعة أنواع الأساسية من النكهات وهي الحلو واللازغ والحادق (الملحي) والمر (راجع للسان وشكل ٩-٤ في الباب التاسع). وعموماً يمكن لبراعم التذوق أن تستجيب لكل نكهة على حده. والإنسان المادى يمكنه تمييز آلاف من حواس التذوق. وحواس التذوق هذه تنتج عن الارتباط بدرجات مختلفة بين الأربعة نكهات الأساسية.

مصادر الأربع نكهات الأساسية : ١- يأتي المذاق الحلو من السكر وبعض الأحماض الأمينية. ٢- يأتي المذاق اللازغ من المواد الحمضية. ٣- يأتي المذاق الملحي أو الحادق من أيونات المعادن أو الفلزات مثل الصوديوم. ٤- يأتي المذاق المر من مواد كيميائية تنتمى إلى مجموعة مركبات شبه قلوية تسمى **Alkaloids**. ويعتبر الكافيين **Caffeine** أحد أمثلة هذه المركبات. وهناك بعض المركبات مثل الأسبرين تعطى المذاق المر لكنها لا تنتمى إلى مجموعة الـ **Alkaloids**.

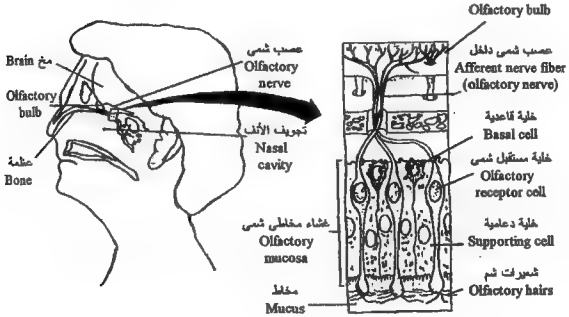
وتتوزع براعم التذوق على سطح اللسان بطريقة غير منتظمة. وجميع هذه البراعم تستجيب ولكن بدرجات مختلفة لكل الأربع نكهات الأساسية كما يمكنها الإستجابة والتمييز لكل نكهة على حدى. هذا وقد أوضحت التجارب التي أجريت عن طريق وضع مواد مختلفة على مواقع مختلفة من اللسان أن الحافة الأمامية للسان عالية الحساسية للنكهة (مذاق) للحلو، أما جانبي اللسان فهما عاليان الحساسية للمذاق اللازغ، أما مؤخرة اللسان فهو عالي الحساسية للمذاق المر، وبالنسبة للمذاق الملحي (الحادق) فهو موزع على اللسان كله فيما عدا أن الحساسية للملح أعلا قليلاً على جانبي مقدمة اللسان (شكل ١٩-٦).



شكل (١٩-٦) : الشكل يوضح خريطة لحواس التذوق على اللسان.

هذا والأغذية تحتوي على عديد من النكهات المختلفة. ويجدر الإشارة إلى أن ما نتذوقه يعتمد على نسب مكونات الغذاء من الأربعة نكهات الأساسية. ومثالا لذلك أثناء طهي البازلاء يوضع لها ملح خفيف لإظهار مذاق السكر.

٢- حاسة الشم Smell : كما ذكرنا من قبل فحاسة الشم حاسة كيميائية مثلها في ذلك مثل حاسة التذوق. ومستقبلات الشم Receptors for smell تقع في سطح كلا من التجويفين الأنفيين وهي عبارة عن قطع صغيرة تتكون من خلايا مستقبلات الشم ويطلق عليها التسيج الطلاسي الشمي Olfactory epithelium كما يطلق عليه أيضا الغشاء الشمي Olfactory membrane وهذا الغشاء الشمي يحتوي على كلا من الخلايا الداعمة Supporting cells والخلايا العصبية Olfactory Neurons والخلايا العصبية ما هي إلا خلايا مستقبلات تركد أجسامها Cell bodies في الغشاء الشمي. وتمتد التفرعات الشجرية Dendrites لهذه الخلايا العصبية إلى سطح الغشاء الشمي حيث تتحد مع بعضها مكونة ستة إلى ثمانية بروزات (أو نتوءات) تسمى الشعر الشمي Olfactory hairs أو الهدب الشمي Olfactory cilia (شكل ١٩-٧).



شكل (١٩-٧) : الشكل يوضح موضع وتركيب التسيج الطلاسي الشمي (الغشاء الشمي).

وأغشية الشعر الشمي مشابهة لتلك في خلايا مستقبلات التذوق في براعم التذوق فهي تحتوي على مستقبلات للجزيئات. فعندما تصل للجزيئات المحمولة على الهواء إلى الطبقة المائية الرقيقة الموجودة على سطح الخلية ترتبط بالمستقبلات وتنشط بذلك الخلايا العصبية والتي تقوم بدورها بإرسال نبضات إلى الـ Olfactory bulb (الـ Olfactory bulb عبارة عن تركيب عصبي معقد تتشابه خلاياه

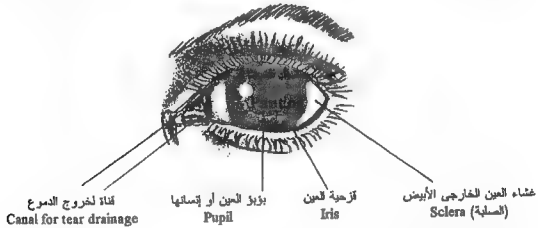
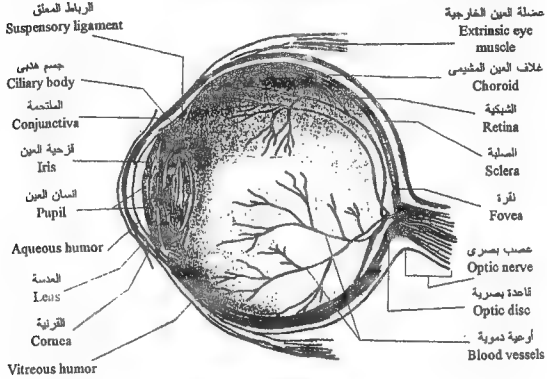
العصبية مع لتفرعات الشجرية الآتية له من خلايا مستقبلات للشم). وتمتد محاور Axons الخلايا العصبية للـ Olfactory bulb وتكذب إلى المخ عن طريق العصب الشمي Olfactory nerve. أما بالنسبة للخلايا الداعمة Supporting cells فهي تنتشر بين خلايا المستقبلات، والإنسان يمكنه تمييز عشرات الآلاف من الروائح وكثير من هذه الروائح يمكن للإنسان تمييزه بالرغم من مستواه المنخفض جدا، وذلك لأن مستقبلات الشم حساسة جدا لئلا أن جزئ واحد يرتبط بالشعر الحسي Olfactory hair ينتج عنه فوراً نبضات كهروحيوية Bioelectric impulse. وعلى الرغم من ذلك لحاسة الشم في الإنسان أضعف بكثير من حاسة الشم في بعض الحيوانات الأخرى مثل الكلب والذئب والقيوط (ذئب شمال أمريكي صغير) والسبب في ذلك يرجع إلى إحتواء الكلب على غشاء شمي Olfactory membrane أكبر عشرون مرة (يعادل عشرون ضعف) من الغشاء الشمي الموجود في الإنسان. وهناك اعتقاد سائد بأن تمييز الروائح المختلفة يأتي كنتيجة للإحداثات المختلفة للاروائح الأساسية. أما عن عدد الروائح الأساسية Primary odors فقد اختلف علماء الأعصاب في حدهم لكن الغالبية دونت أن عددهم سبعة يقرأ جميعاً في مدى الروائح للتساقية والقلبية إلى رائحة الرود إلى رائحة العفن.

هذا وبالرغم من أن مستقبلات للشم Olfactory receptors حساسة جداً ويمكنها تمييز عدد من الروائح إلا أنها تتأقلم بسرعة للرائحة وتنفذ إستجابتها لها بعد زمن قليل. العلاقة بين حاسة الشم وحاسة التذوق : هناك علاقة أكيدة بين حاسة الشم وحاسة التذوق وأثناء الشم يتحول جزء من حاسة الشم إلى حاسة تذوق والعكس صحيح فإثناء التذوق يتحول جزء من حاسة التذوق إلى حاسة شم. ولإيضاح ذلك خذ قطعة من أى ثمرة فواكه طازجة وجيدة وضعها بجوار أنفك ثم خذ شهيق عميق (شم قطعة الفواكه بعمق) فسوف تجد رائحتها جيدة وتحسن بذلك نكهتها وفي الحقيقة أنك فعلاً بهذه الطريقة تفت هذه القطعة وذلك لأن الجزيئات التي خرجت من هذه القطعة دخلت إلى الأنف ووصلت للم عن طريق البلعوم وذابت في اللعاب وبالتالي فهذه الجزيئات قامت بتنشيط براعم التذوق. وبالمثل فكما تقوم الروائح بتنشيط مستقبلات التذوق يقوم الطعام وهو في داخل الفم أيضاً بتنشيط مستقبلات الشم حيث أن الجزيئات التي تخرج من الطعام تدخل تجويف الأنف حيث تذيب في الماء الموجود على سطح الغشاء الشمي وبالتالي تنبه خلايا مستقبلات الشم.

العلاقة بين حاسة الشم والتواصل : راجع الفيرومونات Pheromones بالباب الخامس عشر.

٣- حاسة البصر The Visual Sense : عين الإنسان هي عضو بصري كروي الشكل يوجد داخل تجويف العين (حجاج العين Orbits) وهذا التجويف يتكون من عظام جمجمة الرأس

وترتبط العين بهذا التجويف عن طريق ٦ (ستة) عضلات تسمى عضلات العين الخارجية The extrinsic eye muscles وهذه العضلات هي المتحركة في حركة العين. وهناك أوتار صغيرة Small tendons تصل هذه العضلات بالطبقة الخارجية من العين.



شكل (٨-١٩) : الشكل يوضح التركيب التشريحي للعين في الإنسان.

وجدار العين في الإنسان يتكون من ثلاثة طبقات (شكل ٨-١٩) هي: ١- الطبقة الخارجية وهي طبقة صلبة ليفية تتكون من الصلبة Sclera والتي هي عبارة عن غشاء العين الخارجي الأبيض. ٢- قرنية العين Cornea وهي الجزء الرافق الأمامي والذي يسمح بدخول الضوء إلى الجزء الداخلي

فى العين. ٣- أوتار عضلات العين الخارجية *tendons of the extrinsic eye muscles* والمرتبطة بطبقة الصلبة *Sclera* (شكل ٨-١٩).

أما الطبقة المتوسطة *The middle layer* فهي طبقة وعائية *Vascularized* كثيفة المصبغة *Heavily pigmented* وهي تتكون من ثلاث أجزاء هي: ١- غلاف العين المشيمى *The choroid* (شكل ٨-١٩) وهو لصبيا يعتبر لكبر أجزاء الطبقة المتوسطة وهو يحتوى على أكبر كمية من صبغة الميلانين كما أن بها الأوعية الدموية التى تقوم بتغذية العين ومن الأمام يكون غلاف العين المشيمى *Choroid* ٢- الجسم الهدبى *The ciliary body* (شكل ٨-١٩) وهو يحتوى على ألياف عضلية ملساء (ناعمة). هذه الألياف العضلية هي التى تتحكم فى شكل عدسة العين *Lens* (شكل ٨-١٩) وتغير شكل عدسة العين هو الذى يسمح لنا برؤية الضوء القادم من الأشياء أو الضوء المنعكس من على أسطحها. ٣- قزحية العين *Iris* (شكل ٨-١٩) وهي الجزء الملون من العين والذي يرى من خلال قرنية العين. ويوجد داخل قزحية العين فتحة تسمى بؤبؤ العين أو إنبسان العين *Pupil* (شكل ٨-١٩). وإنبسان العين هو الذى يسمح للضوء بلفتراق العين.

أما الطبقة العميقة من العين فهي شبكية العين *Retina* وهي الطبقة الحساسة للضوء حيث تحتوى على نوعين من المستقبلات الضوئية *Photoreceptors* هما: ١- مستقبلات ضوئية قضيبية الشكل *Rods* و ٢- مستقبلات ضوئية مخروطية الشكل *Cones*. وبالتالي فتسمية المستقبلات هنا جاءت بحسب شكل كل مستقبل.

وبالنسبة للوع *Rods* من المستقبلات فهو يتركز بدرجة كبيرة على حواف الشبكية وهي حساسة للضوء الخفيف إذا فهي تعمل فى ضوء القمر ولا ترى الألوان. أما بالنسبة للنوع *Cones* من المستقبلات فهي حساسة للألوان وتميزها وتعمل فى الضوء الساطع وهي مسؤولة عن حدة الرؤية (حدة البصر). وتتركز هذه المستقبلات بدرجة كبيرة فى النقطة المركزية *Fovea centralis*.

والضوء يصل إلى الشبكية *Retina* عن طريق القرنية *Cornea* والعدسات *Lens*. والقرنية لها قدرة إنكسار ثابتة أما العدسات فهي التى تستطيع أن تغير من إنكسارها حسب الحاجة المطلوبة وللاى يمكنها من ذلك هي العضلات الموجودة بالجسم الهدبى والتي تقوم بأهم دور فى هذا الشأن. أما رؤية الأشياء القريبة فتتم عن طريق انقباض بؤبؤ العين (إنبسان العين).

ومع تقدم الإنسان فى العمر أو كنتيجة لتعرض الإنسان لكميات زائدة من الأشعة فوق بنفسجية يمكن أن تتحول العدسات إلى عدسات قاتمة اللون (أى غير صافية) وتسمى هذه الحالة بإبهاض العين *Cataracts*. وتعالج هذه الحالة بإجراء عملية جراحية تنزع فيها العدسات الأصلية وتوضع بدلا منها

عدسات بلاستيكية. وأيضاً كلما تقدم الإنسان في العمر كلما قلت مرونة العدسات كما تقل قدرتها على الرؤية وتسمى هذه الحالة: بصر الشيخوخة **Presbyopia**.

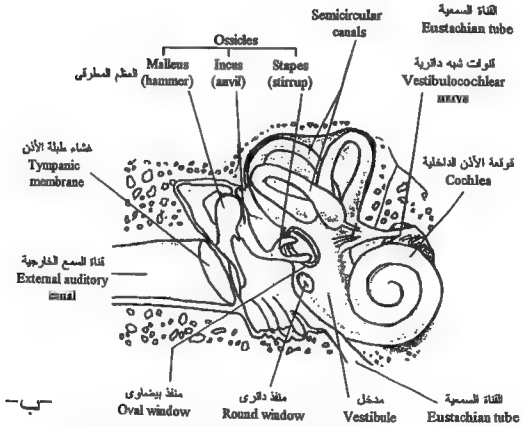
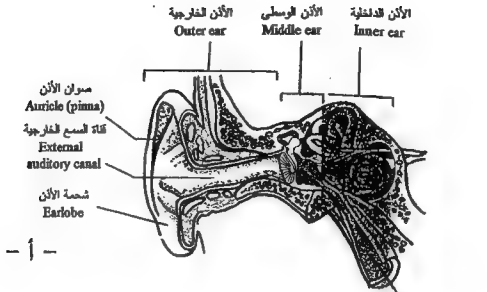
أما بالنسبة لحالة قصر البصر **Myopia or nearsightedness** فهي تحدث كنتيجة لوجود عدسات قوية (مقعدة بدرجة كبيرة) أو قد تحدث كنتيجة لزيادة طول مقلة العين **Eyeball**. أما حالة مد أو بعد البصر **Hypeopia** فهي تكلى كنتيجة لوجود عدسات ضعيفة (زائفة التحدب) أو كنتيجة لنقص طول مقلة العين **Eyeball**.

أما بالنسبة لحالة اللانقطية **Astigmatism** فهي تنتج من إحناء غير منتظم للعدسات أو للقرنية. وهناك ثلاثة أنواع من المستقبلات الضوئية **Photoreceptors** المخروطية الشكل **Cones** وهي الأحمر والأخضر والأزرق وكل نوع من هذه الثلاثة أنواع يستجيب لواحد فقط من الألوان الضوئية. أما الألوان التي بين هذه الألوان فهي تنشط أكثر من نوع من هذه المستقبلات المخروطية. وهناك مرض يسمى عمى الألوان **Color blindness** وهو ناتج عن خلل وراثي. وهذا المرض شائع في الرجال عنه في النساء. وأهم أعراض هذا المرض أن الفرد لا يستطيع تمييز لونين عن بعضهما والغالبية العظمى من المرضى لا يستطيعون تمييز اللون الأحمر من اللون الأخضر. وسبب هذا المرض هو نقص أو غياب نوع أو أكثر من أنواع المستقبلات الضوئية المخروطية الشكل **Cones**.

٤-٥- حاسة السمع والإنتران **Hearing And Balance** :

تتكون أذن **Ear** الإنسان من ثلاثة مناطق هي من الخارج للداخل : الأذن الخارجية - الأذن الوسطى - الأذن الداخلية (شكل ١٩-٩). وتتكون الأذن الخارجية **The outer ear** من الجزء الخارجى المضروفى من الأذن (صوان الأذن) **Auricle** وقناة السمع الخارجية **External auditory canal** (شكل ١٩-٩) وهما الإثنان يوجهان الصوت إلى طبلة الأذن. وتتكون الأذن الوسطى **Middle ear** من طبلة الأذن **Eardrum** وثلاثة عظام صغيرة **The ossicles** والتي تنقل الذبذبات (التردد أو الإهترزاز) إلى الأذن الداخلية. أما الأذن الداخلية **The inner ear** فهي تحتوى على قوقعة الأذن الداخلية **Cochlea** والتي يوجد بداخلها مستقبلات السمع. كما تحتوى الأذن الداخلية أيضاً على مستقبلات للحركة ووضع الرأس **Head position**.

وقوقعة الأذن الداخلية **Cochlea** لها شكل لولبى وتركيب عظمى وتحتوى على ثلاث قنوات مملوءة بالسائل، ويفصل القناة الوسطى عن القناة السفلى غشاء قاعدى مرن. وللموجات الصوتية تسبب ذبذبة أو إهترزاز لطبلة الأذن **Ossicles** والتي تنتقل إلى الموائل الموجودة فى قوقعة الأذن الداخلية وبالتالي فموجات الضغط فى قوقعة الأذن الداخلية تسبب إهترزاز أو تكذبذبة الغشاء القاعدى والذي بدوره ينبه الخلايا الشعرية.



شكل (١٩-٩) : الشكل يوضح تركيب الأذن أ- قطاع عرض يوضح ثلاثة طبقات الأذن (الخارجية والوسطى والداخلية) ب- قطاع يوضح أن مستقبلات الإتراف والصوت تقع داخل الأذن الداخلية.

وموجات الضغط الناتجة من أى صوت تسبب إهتزاز أو تذبذب منطقة واحدة من الغشاء Membrane بأقصى ما يمكن، والخلايا الشعرية Hair cells التى تم تتيبها بهذه المنطقة تقوم بإرسال إشارات إلى المخ وهذه الإشارات Signals يتم تفسيرها داخل المخ. وبالتالي يعرف ويفهم الصوت عن طريق التكرارات الخاصة.

هذا وقد السمع Hearing loss يمكن أن يحدث كنتيجة للأسباب التالية : ١- تلف أو سد جهاز التوصيل Conducting system : قناة السمع الخارجية -- طبلة الأذن Eardrum والـ Ossicles. والقنوات الشبه دائرية عددهم ثلاثة على شكل خاتم مجوف ملئ بسائل يسمى Endolymph. ومستقبلات حركة رأس الإنسان تقع فى جزء متضخم فى قاعدة كل قناة ويسمى هذا الجزء Ampulla. والقنوات الشبه دائرية توجد فى كل الفراغات الثلاثة المستوية وبالتالي فالحركة فى أى إتجاه يمكن إكتشافها بسهولة.

التلوث السمعى Noise Pollution : المستقبلات المسببه للحواس العامة والخاصة فى الإنسان تعتبر فى غاية الأهمية بالنسبة لعملية التوازن الداخلى Homeostasis. والضوضاء تسبب تلف الأذن فالضوضاء الحادة يمكن أن تسبب تمزق طبلة الأذن Eardrum أو كسر الـ Ossicles. أما الضوضاء الأخف من الضوضاء الحادة فهى تسبب ضعف السمع تدريجيا عن طريق إتلاف الخلايا الشعرية Hair cells ومعظم الأفراد فى هذه الحالة يفقدون السمع تدريجيا ويبطئ شديد مما يجعلهم لا يشعرون أن الضوضاء هى السبب فى فقدانهم لسمعهم.

وبالإضافة إلى ذلك فالضوضاء تمنع الإنسان من النوم والراحة والإثتان هامين جداً لعملية التوازن الداخلى Homeostasis وأيضاً هامين فى عملية التقدير الصحيح للأمور فالإنسان الذى لا ينام فترة كافية (٧-٨ ساعات يومياً) لا يستطيع أن يقدر الأمور تقديراً صحيحاً. ويضاف إلى كل ذلك أن الضوضاء تسبب زيادة مستوى الضغط على الفرد وبالتالي تجعله يعيش حياة غير سليمة صحياً.

الباب العشرون

الاستنساخ التقنية الحديثة ونقل أنوية الخلايا Nuclear Transfer Technology

مقدمة Introduction : مع نهاية القرن العشرين ومشارف القرن الواحد والعشرون حدثت عدة إنجازات مذهلة سميت بالاستنساخ وهذه الإنجازات قام بها العلماء مستخدمين في ذلك المادة الأساسية التي خلقها الله سبحانه وتعالى وهي الخلية The cell والنواة التي يدخلها Nucleus.

ويجب التنويه هنا أن هذه الإنجازات نجحت فقط في الحيوان (مثل الضفدعة والأغنام والقرود) لكنها لم تنجح مطلقاً في الإنسان وإعتقادي الشخصي أنها لن تنجح في المستقبل مع الإنسان وذلك لاختلاف بعض مظاهر الأداء التناسلي بين الإنسان والحيوان. هذا وقد بدلت عملية الاستنساخ هذه في الثمانيات في الضفدعة حيث تم في هذه التجارب زراعة بويضات بها أنوية من جدر أمعاء للضفدعة. ولكن معظم الضفادع الناتجة كانت مشوهة والنسبة للتكاثر الباقية والتي نمت ووصلت لعمر النضج كانت عقيمة وغير قادرة على التكاثر. ثم في منتصف التسعينات بالنسبة للأغنام (النعجة دولي) كما تمكن أيضاً العلماء الأمريكيون في أوريجون عام ١٩٩٦م لإجراء عملية الاستنساخ في القرود حيث نجحوا في إستنساخ قردين من أجنه. والفرق بين إستنساخ النعجة دولي والقرود هو أن القرود إستنسخت من أجنه وليست من حيوان بالغ.

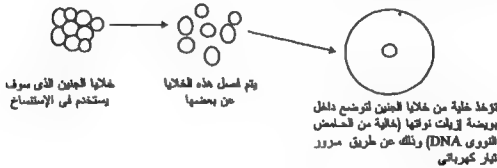
نظرة عامة على تجارب الإستنساخ ككل :

١- الإستنساخ من خلايا جنينيه : وهو ما قام به علماء أوريجون بالولايات المتحدة الأمريكية حيث قام هؤلاء العلماء بإستنساخ قردين من أجنه عمرها بضعة ساعات. كما نجح العلماء البريطانيون بشركة الأبحاث PPL المتخصصة في هذا المجال من توليد خروفين تم تسميتهم (ميجان ومورجان) من خلايا أجنه لكنها في هذه الحالة لأجنه كبير نسبياً حيث كان عمرها تسعة أيام. هذا وتتلخص طريقة تقنية النقل النووي Nuclear transfer technology للإستنساخ من الأجنة (سواء ما حدث بالنسبة للقرود أو للخروفان ميجان ومورجان) (شكل ٢٠-١) في الخطوات التالية :

١- يتم أولاً إزالة للحمض النووي DNA (النواة وبها العدد الوردي من الكروموسومات) من بويضة غير مخصبة.

ب- يتم نقل نواه كاملة بها العدد الزوجى من الكروموسومات (أى نقل الحامض النووى DNA بكامله من خلية جنينية إلى خلية البويضنة السابقة) ثم بعدها تزرع فى رحم نعجه أو رحم لمرده حسب النوع المستخدم.

هذا ولإتمام الخطواتين السابقتين (أ و ب) يتم إجراء عدة خطوات (شكل ٢٠-١) أهمها هو ١- تكوين زيجوت (حيوان منوى متحد ببويضنة) عن طريق التلقيح الطبيعى أو الصناعى داخل أنبوية. ٢- ترك هذا الزوجت للتضاعف خلاياه (فى حالة القرد تركت لتصبح ثمانية خلايا متشابهة، أما فى حالة الأغنام فقد تركت لتضاعف لمدة ٩ أيام).



شكل (٢٠-١) : الشكل يوضح طريقة الإستنساخ من خلايا جنينية.

وفى مرحلة التضاعف هذه يمكن إجراء تعديلات فى التركيب الوراثى عن طريق الهندسة الوراثية حيث يمكن إدخال جينات مرغوبة أو إستبعاد جينات ضارة من التركيب الوراثى وبالتالى يمكن إستخدام خلايا الجنين التى اجريت بها هذه التعديلات. ٣- تتصلل خلايا الجنين هذه عن بعضها وتصبح كل خلية موجودة بصورة مفردة. ٤- بعد ذلك يتم تحضير خليه من هذه الخلايا مع بويضنة ازيلت نواتها حيث يتم دمج الخلية الجنينية داخل جدار للبويضنة. ٥- تؤخذ هذه البويضنة وبها الخلية الجنينية وتزرع فى رحم أم أخرى.

هذا ويعتبر إستنساخ قردين من خلايا جنينية عند مرحلة ثمانية خلايا هى عملية علمية جيدة لكنها مختلفة بعض الشئ حيث هنا كل الخلايا متشابهة ولم تتميز بعد. أما عملية إنتاج الخروفان ميجان ومورجان فهى عملية متقدمة عن عملية إستنساخ القرد حيث إستخدمت فى عملية إنتاج الخروفان أجنه عمرها تسعة أيام (إستنساخ جنين فى مرحلة متأخرة) وفى هذه للتجربة قام فريق من العلماء التابع للهيئة البحثية PPL بالملكة البريطانية عام ١٩٩٥ بفصل خلايا لجنة أغنام عمرها تسعة أيام عن بعضها ثم قاموا بوضع المادة الوراثية DNA التى أخذت من هذه الخلايا المنفصلة فى بويضات

منزوعة النواه ثم قاموا بزراعة هذه البويضات في نعاج أخرى حيث أدى ذلك إلى ولادة الخروفان ميجان ومورجان.

٢- الإستئناسخ من خلية جسمية لحيوان قام النمو : كما ذكرنا من قبل أن أول تجارب من هذا النوع بدأت على الضفدعة حيث تم إستئناسخها من خلايا جدر الأمعاء لضفدعة بالغة لكن هذه التجارب لم تتجح بطريقة مكتملة حيث نفقت (ماتت) معظم الضفادع وبعضها كانت مشوهة (مسوخ) أما البقية القليلة التي عاشت فكانت عقيمة.

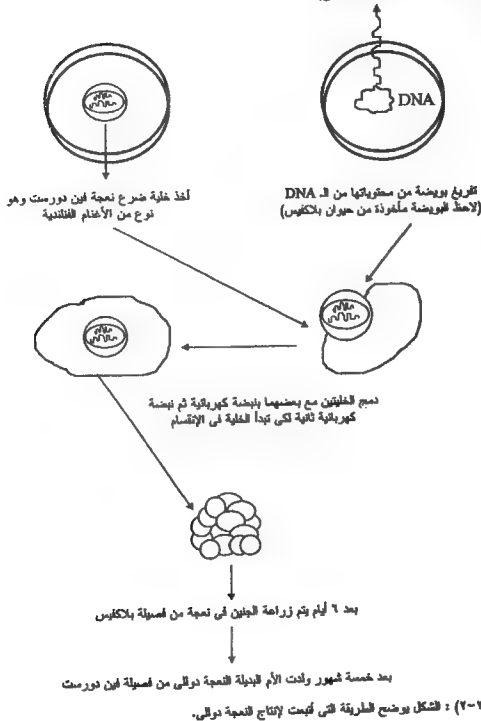
أما التجربة الحديثة التي نجحت وولفت أنظار العالم لجمع فهي تجربة إنتاج النعجة دوللي، فقد نجح إستئناسخ النعجة دوللي من نعجة بالغة أخذت منها خلية جسمية من خلايا الضرع ووضعت نواة هذه الخلية في بويضة منزوعة النواه لنعجة ثلثية ثم تمت زراعة هذا الجنين المتكون في نعجة ثالثة.

والفريق البحثي الذي قام بهذه العملية يتكون من : إيان ويلموت، رون جيمس وهو رئيس شركة الأبحاث البريطانية PPL المتخصصة في مجال نقل الأجنة وإنجوليكاش شنيكي وإليكس كوند ومساعدوه من الباحثين. وقد قام هذا الفريق بإنتاج حيوان ثديي كامل من خلية حيه لحيوان آخر ناضج حيث تمت في هذه التجربة أخذ نواه خلية من خلايا ضرع نعجة بالغة (شكل ٧٠-٧) ووضعت هذه النواه (بها) العدد الزوجي من الكروموسومات) في بويضة كانت قد أنزلت نواتها ثم أخذ هذا الجنين المتكون وتمت زراعته في نعجة ثالثة حيث ولدت هذه النعجة (النعجة دوللي) وحالياً في سنة ١٩٩٨ أنجبت النعجة دوللي مما يدل على أنها عاشت بصورة طبيعية.

والأساس العلمي لإنتاج النعجة دوللي هو عكس عملية تطور الخلايا. فكما ذكرنا من قبل أن الجنين وهو في صورة زيجوت يبدأ في الإنقسام والتضاعف لإنتاج خلايا متخصصة وبعد عملية تميز وتخصص الخلية تنطلق برمجة الجينات الموجودة في نواتها. وبالتالي فالأذى حدث في حالة النعجة دوللي هو أخذ نواة خلية متخصصة من خلايا ضرع نعجة وتفكيك برمجة الجينات الموجودة بهذه النواه (والتي كانت قد إنطلقت كنتيجة لتخصصها) وبالتالي فقد تم عكس تطورها وإعادتها إلى حالتها الأولى.

وحالة الخلية الأولى هنا تعني ما ذكرناه من قبل وهو أن الخلية بحالتها الأولى تكون داخل نواتها لأوامر لولا بأن تقسم وتتضاعف ثم تكاثر لها لأوامر بأن تتميز إلى أربعة أنواع من الخلايا هي الخلايا العصبية والعضلية والطلائية وخلايا النسيج الضام ثم تكاثر لها لأوامر أيضاً بأن تخصص فهذه تكون خلايه ضرع مثلاً والأخرى خليه كبدية ... الخ ثم تنطلق برمجة جينات هذه الخلية لكن بعض الخلايا يمكن أن تستمر في الإنقسام والبعض الآخر يمكن أن يتوقف عن الإنقسام. وعكس تطور الخلية يعني فك إنغلاق برمجة جيناتها لتصبح في حالتها الأولى وجيناتها مبرمجة لتقوم بكل العمليات السابقة.

والسبب في نقل نواة هذه الخلية إلى بويضة منزوعة النواة وليس إلى حيوان منوي هو أن البويضة تحتوي على العضيات السيتوبلازمية بعكس رأس الحيوان المنوي (راجع الوراثة السيتوبلازمية أو الأمية بالباب السابق).



شرح لبعض المصطلحات والكلمات العويصة

GLOSSARY

- **1,25 Dihydroxycholecalciferol (1,25 DHCC)** الصورة النشطة من فيتامين د **Active form of vitamin D**.
- **1,25 Dihydroxyvitamin D3** : الصورة النشطة من فيتامين د ويكثر هرمون إسترويدي يفرز من الكلية.
- **25-Hydroxycholecalciferol (25 HCC)** مسادة ومطوية يحدث لها **Hydroxilation** في الكبد لتكوين فيتامين د النشط أي أن هذه المادة تتوسط تكوين **Active vitamin D** ، ولذا تظهر هذه المادة أثر ضعيف لفيتامين D.
- **7-Dehydrocholesterol** : مشتق من الكوليسترول وهو يوجد بالجاذ ويتحول بواسطة أشعة الشمس فوق بنفسجية إلى فيتامين D.
- **Abiotic factors** : العوامل الغير حيوية - المكونات الفيزيائية والكيميائية للكائنات الحية في البيئة
- **Absolute refractory period** الفترة المقاومة المطلقة : الوقت الذي من خلاله يثار شفاء الخلية ولا يستطيع إنتاج أو تكوين الجهد القلى **Action potential** عندما يخلق بأى شيء مثل
- **Absorption** الإمتصاص : وهو إنتقال المواد خلال طبقة طلائية من مذاب الجسم أو أى جزء إلى الدم **Blood**.
- **Absorptive State** الحالة الممتصة : وتحدث هذه الحالة أثناء إمتصاص غذاء طبيعي حيث يكون الجلوكون هو المكون الأول للطاقة وهرمون الأنسولين **Insulin Hormone** هو الهرمون المختص، ويمكن تعريضها أيضا على أنها الفترة التي من خلالها تنتقل المواد إلى المجرى الدموي (الدورة الدموية) من خلال الجهاز الهضمي **Gastrointestinal tract** (الهضم).
- **Accessory reproductive organ** العضو التناسلي الثانوي : لقناة التي من خلالها تنتقل أو تدرغ الحيوانات المنوية أو البويضات - يحدث تفريغ للغدة في لقناة (في الأنثى يعتبر الثدي أيضا عضو تناسلي ثانوي).
- **Acclimatization** التكيف : هو تحسين في وظائف الجسم الفسيولوجية ذات الأصل الوراثي ليتواءم مع بيئة معينة خارجية جديدة (أى أنه تحسين في وظيفة وراثية مؤثرة على الجهاز الفسيولوجي)
- **Accommodation** التكيف : هو قدرة العين على النظر لمسافات مختلفة عن طريق تغيير شكل العدسات أو التغير في شكل العدسات عن طريق الإنقباض أو الإنبساط للعدسات المساء للجسم الهدبي **Ciliary body** والتكيف هو الذى يمكن العدسة من ضبط درجة إشتاء الشعاع الضوئي السماح بتركيز صور الأشياء على الشبكية **Retina**.
- **Aceton** الأسيتون : جسم كيتوني ينتج من **Acetyl Co A** خلال فترات الصوم الطويلة أو في حالات مرض البول السكري لحاد الغير معالج.

- **Acetyl Coenzyme A; Acetyl Co-A; Active Acetate** وهو مركب يمثل موقع في التمثيل الغذائي حيث يعتبر إحدى نقط التمثيل كلاً من الكربوهيدرات والبروتينات والدهون.
- **Acetyl group - COCH₃** : مجموعة الأسيتيل
- **Acetylcholin (Ach)** : الأسيتيل كولين : جزيء من رسول كيميائي منظم يطلق عليه ناعل عصبي Neurotransmitter or Neurohumor ونتيجة الخلايا العصبية ويحدث له تدمير في نهايات ألياف هذه الخلايا في منطقة التشابك Synapse يؤدي وظلة محنة لذا يسموه بعض هرمون موضعي Local hormone.
- **Acetylcholinesterase** : هو الإنزيم الذي يقوم بتسليم الأسيتيل كولين إلى حمض الأسيتيك Acetic acid وكولين Choline.
- **Achondroplasia** : مرض وراثي ينتج من جين سائد Autosomal dominant gene. الأفراد المصابين بهذا المرض تكون أرجلهم ولديهم قصيرة لكن الجسم يكون حجمه طبيعي.
- **Acid deposition** : هو ترسيب لأمراض الكبريتيك والنيتريك خلال الغلاف الجوي على سطح الأرض مما يتسبب في تغريب المباني والبحيرات والأنهار والجداول والمحاصيل والغابات. وتتكون هذه الأحماض من غازي ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النيتروجين الناتجة من احتراق الفحم المتحضر.
- **Acid** الحمض : جزيء له القدرة على إنتاج أو إطلاق أيون الهيدروجين - المحلول يحتوي على أيونات هيدروجين موجبة (H⁺) أعلى منه في الماء قلوي ويكون pH المحلول أقل من 7.
- **Acidity** الحموضة : هي تركيز أيون الهيدروجين الحر الغير مرتبط في المحلول. وكلما زاد تركيز أيون الهيدروجين H⁺ كلما زادت الحموضة.
- **Acidophil** : وهي خلايا توجد في القسم الأمامي للعداء للخلاوية وتقوم بإنتاج كلاً من هرموني النمو والبرولاكتين وهذه الخلايا موجبة للصبغات الحمضية.
- **Acidosis** : أي وضع يكون فيه تركيز أيون الهيدروجين في الدم لشرط مرتفع.
- **Acrromegaly** وهو مرض ينشأ عن زيادة إفراز هرمون النمو بعد تمام النمو وبالتالي لهذه الزيادة من الهرمون تسبب زيادة في نمو الجسم لكن بدرجة غير متناسبة فيتميز هذا المرض بنمو زائد في عظام الوجه والفكين والقدمين وزيادة في نمو الأنسجة الناعمة كما يسبب خشونة في الجلد.
- **Acrosome** الأكروسوم : وعاء سيتوبلازمي يحتوي على إنزيمات هاضمة ويقع في رأس الحيوان المنوي.
- **Actin** أكتين : بروتين كروي إبتنائي يكون خيوط الأكتين الرفيعة الموجودة بالخلايا العضلية والتي ترتبط مع خيوط الميوسين في الخيوط الدقيقة للهيكل الخلوي.
- **Action potential** جهد الفعل : اشارات كهربية تولد أو تخلق عن طريق الخلايا العصبية والعضلية في وجود الاستقطاب أو عدم وجوده قطبية للششاء ويشمل بوجود حد أدنى Threshold وفترة مقاومة Refractory period ويتم توصيله دون تقلص. وبالتالي فيمكن تعريفها على أنها إشارة كهربائية تنشر لمسافات بعيدة بواسطة الخلايا سرية لتثير مثل الخلايا العصبية.

- **Activated macrophage** : طور الكبير النشط : ويتم إستثارة كثرته على قتل عن طريق السيروتونين خصوصاً إندراكين ٢ (Interleukin II (or IL-2) وجنا إندراكين كما يطلق عليه أيضاً طور الكبير الفعال Effective macrophage.
- **Activation energy** : طاقة المنطقة : وهي الطاقة اللازمة لتحطيم الروابط الكيميائية المثارة خلال التفاعلات الكيميائية. أو هي كمية الطاقة اللازم أن تكتسبها الجزيئات وتكون كافية لتصبح هذه الجزيئات نشطة.
- **Active hyperaemia** : هي حالة زيادة سريان الدم في الأنسجة نتيجة لزيادة في نشاط الأوعية.
- **Active immunity** : المناعة النشطة : هي المقاومة ضد إعادة الإصابة بالأمراض كنتيجة لإتصال سابق بالخلايا الدقيقة أو سميتها أو أي مواد أنتيجينية أخرى.
- **Active site** : الموقع أو المكان للنشط : وهي المنطقة من الإنزيم التي تتحد معها المادة للمنطقة Substrate.
- **Active Transport** : النقل النشط : وهو عبارة عن نقل المواد عبر أغشية الخلايا ضد اتجاه التركيز ويحتاج هذا النقل إلى طاقة في صورة ATP وحامل بروتيني Carrier protein، وعبارة أخرى يمكن تحويله أيضاً بأنه الطاقة التي يحتلها الجهاز والتي يستخدمها في إنتقال وحركة الأيونات أو الجزيئات خلال الغشاء ضد لفرق أو إختلاف كيميائي كهربائي Electrochemical difference.
- **Acute** : حاد : ينتهي خلال وقت قصير.
- **Acute phase protein** : ألد مجموعة البروتينات التي تفرز بواسطة الكبد خلال رد الفعل العام Systemic response للجرح أو العدوى.
- **Acute phase response** : استجابة الأنسجة والأعضاء البعيدة عن مواقع العدوى أو الإصابة بالمناعة.
- **Adaptation** التكيف : وهو ناتج عن عملية التطور Evolution وهو عبارة عن خصائص بيولوجية تفضل المعيشة في بيئة بعينها. وهناك مصطلح التكيف العصبي Neural adaptation وهو آلة في تردد الجهد الفعلي بالرغم من ثبات الإثارة المسببة.
- **Addison's Disease** : وهو مرض ينشأ كنتيجة لخلل في النظم الإلليمية الموجودة بقشرة الغدة الجاركلوية ومن أعراضه نقص إفراز كلا من هرموني الكورتيزول والأندسترون والنسب العام ونقص الوزن والعلل لقوم العميق وزيادة الصفات الجلدية الأمر الذي يؤدي إلى إسمرار لون الوجه.
- **Adenohypophysis** : وهو مصطلح يطلق على القسم الأمامي للغدة الخلفية كما يطلق عليه أيضاً Pars distalis وأيضاً Anterior pituitary.
- **Adenosine diphosphate (ADP)** : أدينوزين ثنائي الفوسفات وهو مركب يحتوي على مجموعتين من الفوسفات وهذا المركب ناتج عن تكسير حامل الطاقة ATP
- **Adenosine monophosphate (AMP)** : أدينوزين أحادي الفوسفات وهو ألد مشتقات ATP
- **Adenosine triphosphate (ATP)** : أدينوزين ثلاثي الفوسفات وهو مركب حامل الطاقة.
- **Adenyl cyclase (Ac)** : إنزيم يقوم بتحطيم تحول الأدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP إلى الأدينوزين أحادي الفوسفات الحلقي (الدائري) Cyclic AMP.

- **Adeposcyte** : خلايا خاصة تقوم بتخزين تراكيب ليبيدات Triacylglycerol وتخزينه.
- **Adipose tissue** : أنسجة تحتوي على خلايا كبيرة لتخزين الدهون.
- **Adrenal Androgens** : وهي هرمونات أستيرويدية تفرز من مناطق Zona fasciculata and zona reticularis الموجودة في قشرة الغدة الجاركلوية.
- **Adrenal Cortex** : قشرة الغدة الجاركلوية (أو الكظرية أو فوق الكلوية) : وهي عبارة عن غدة صماء Endocrine gland وهي تكون الغلاف الخارجى للغدة الجاركلوية وتفرز الكورتيزول بصفة رئيسية والاندوستيرون ومجموعة هرمونات الجنس الإسترويديّة.
- **Adrenal medulla** : وهو نخاع الغدة الجاركلوية وهو عبارة عن خلايا عصبية حدث لها تحورات سيتولوجية بحيث أصبحت لها القدرة على الإفراز وتسمى Neurosecretory cells (NSC) تقوم بإفراز هرمونات عصبية Neurohormones أهمها هرموني Epinephrine & Norepinephrine والدوبامين Dopamine.
- **Adrenalin** : الاسم البريطاني (الإنجليزي) لهرمون Epinephrine وهو هرمون عصبى Neurohormone يفرز من نخاع الغدة الجاركلوية.
- **Adrenaline** .
- **Adrenarche** وهو مصطلح يطلق لوصف التغيرات التي تحدث أثناء البلوغ بزيادة إفراز الـ Adrenal androgens .
- **Adrenergic** : متعلق بهرموني Epinephrine & Norepinephrine أو هرمون له نفس التأثير.
- **Adrenocorticotrophic hormone (ACTH)** الهرمون الملشط لقشرة الغدة الجاركلوية : وهو هرمون بروتيني يفرز من الغدة الأمامية للغدة الخلفية ومن المبيض أيضا ويقوم بتنشيط قشرة الغدة الجاركلوية وتحفيزها لإفراز هرمون الكورتيزول وهرمونات أستيرويدية أخرى.
- **Aerobic** : تمثيل هوائى أو لى وجود الأكسجين.
- **Aerobic exercises** : تمارين عضلية مثل السباحة تتميز لى أنها لا تتسبب لى إستنزاف لكسجين الخلية العضلية ولها نتائج ممتازة لى تقوية عضلة القلب وإيقاص الوزن.
- **Affect** : التعبير الخارجى لمشاعر داخلية.
- **Afferent** : يشمل إلى
- **Afferent arteriole** : الشريان الثانى للدم وهو وعاء دموى لى الكلية يقوم بنقل الدم من الشريان الرئيسى إلى البصلة (أو الكلية) الكلية Renal corpuscle.
- **Afferent neurone** : خلية عصبية مختصة بنقل المعلومات من المستقبلات الموجودة بأطرافها إلى الجهاز العصبى المركزى CNS مع ملاحظة أن جسم الخلية يقع خارج الجهاز العصبى المركزى.
- **Afferent pathway** : جزء من دائرة رد الفعل العصبى وهو مسؤول عن توصيل المعلومات من المستقبل إلى المركز التكميلى Integrating Center.

- **Afferent** : ومثالاً يحمل إلى أو في اتجاه وهي الطريقة التي تصل أو توصل بها المعلومة من المستقبل إلى Integrator أو من الطرف إلى المركز.
- **Affinity** : الألفة : وهي قوة تحمل الأفرات المختلفة على الاتحاد. أو هي الجاذبية التي تربط ملكتين ببعض .
- **Afterbirth** : المشيمة والأعضاء المتصلة بها والتي تنفص خارج الرحم بعد ولادة الرضيع.
- **Agonist** : رسول كيميائي يرتبط بالمستقبل ويحفز استجابة الخلية الرسول الكيميائي الأصلي لهذا المستقبل (وهو الهرمون غالباً) وغالباً يستعمل الإصطلاح في الإشارة إلى الأدوية التي تقوى فعل كيميائيات طبيعية في الجسم.
- **Airway** : أنبوبة يمر خلالها الهواء ما بين البنية الخارجية والحوصلات الهوائية في الرئة.
- **Albumin** : نوع من فروع البروتينات الموجودة في بلازما الدم وهو أكثرها كماً. وهو شق من البروتين يذوب في الماء ويساعد على إزارة السوائل الخارج خلوية مع السوائل داخل الخلوية في الجسم وينقل البيرومين السورم الأحماض القاعدية في الدم والتي ترتبط مع بعض الهرمونات مثل T_3 و T_4 .
- **Aldosterone** : هو هرمون نشرة الغدة الجاركلوية المخصص بشغل للماء والأملاح ويلفرز من خلية في Zona glomerulosa وينشط كإنبيب للكلية في المحافظة على الصوديوم. وعموماً فهو ينظم إزارة الألاح المتكينة.
- **Aldosterone-induced Protein** : وهو بروتين متفصص يتكون كنتيجة لخطوتين وهما ارتباط هرمون Aldosterone مع المستقبلات الخاصة به في السيتوبلازم Cytoplasmic Receptors والذي يتسبب بدوره في التفاعل الداخلي الذي يحدث بين مقعد الهرمون والمستقبل من جانب ومحتويات الفولة من جانب آخر.
- **Alkaline** : قلوي : وهو حالة كيميائية للمادة وتتميز بوجود تراكيزات لذرات الهيدروجين المتأين الموجب H^+ أقل منها في الماء المقطر. بمعنى أن pH أكبر من 7.
- **Alkalosis** : وهي حالة يقل فيها تركيز الهيدروجين المتأين في الدم القشري.
- **All or none** : يشير هذا الإصطلاح إلى حدث يقع إما بهايته المتكلى أو لا يقع على الإطلاق.
- **Allele** : الأليل : ترتيب معين للأحماض النووية في وحدة البناء الوراثي وتنقسم إلى إما أليلات سائدة أو أليلات متنحية. أو الأليل المتنحي الذي يبقى كزء بصرف النظر عن الأليلات الأخرى أو التركيب الوراثي للفرد.
- **Allosteric modulation** : تحكم في خصائص منطلق الإرتباط في البروتينات بواسطة مركبات معقدة ترتبط بمنطلق أخرى بالبروتينات غير أماكن الإرتباط التي كانت بتعديلها.
- **Allosteric protein** : البروتين المتضمن لتعديل خصائص أماكن إرتباطه بطريقة Allosteric modulation.
- **Alpha adrenergic receptors** : مستقبلات موجودة في الغشاء البلازمي Plasma membrane وهذه للمستقبلات تتأثر (ترتبط) بكلاً من هرموني Epinephrine and norepinephrine وتصل هذه المستقبلات بطريقةتين، إما عن طريق نظام الرسول الثاني بالاستفادة من الفوسفوليپاز Phospholipase-C-Second C-messenger أو بالتأثير المباشر على قنوات البوتاسيوم والكالسيوم في الغشاء الخلوي.
- **Alpha Cells** : خلايا ألفا : وهي خلايا جزر لانجرهانز في البنكرياس والتي تقوم بإفراز هرمون Glucagon.

- **Alpha gamma coactivation** : التنشيط المتزامن أو المتقارب لخلاتنا ألفا وجها المسببة الحركية **Motor neurons**.
- **Alpha glycerol phosphate** : ثلاثة جزيئات كربون تتحد مع أصمض دهنية لتكوين حمضى أو ثنائى أو ثلاثى لسل جليسرول ويطلق عليه أيضا جليسرول -3- فوسفات.
- **Alpha Helix** : تشكل لولبى لسلسلة من متحدات الببتيد (وحدات بناء البروتين) وتوجد فى كثير من البروتينات.
- **Alpha motor neuron** : الخلية المسببة الحركية المتصلة بالألياف العصبية.
- **Alpha rhythm** : تذبذب يتراوح بين 8-12 هرتز فى جهاز رسم المخ وذلك عند تركيبه على شخص متيقظ بالغ مطلق لحيالين ومسترخى.
- **Alternate complement pathway** : ترتيب معين لتنشيط سلسلة من التفاعلات الكيميائية التى تنتهى بتكوين المواد اللازمة لتجلط الدم وإيقاف النزيف. ويتخطى هذا الترتيب الخطوة الأولى من التفاعل الموجود فى الترتيب الكلاسيكى كما يتميز بأنه لا يعتمد على الجسيمات المضادة.
- **Alveolar dead space** : حجم من هواء التنفيس يصل إلى الحويصلات الهوائية ولكنه لا يدخل فى عملية التبادل الغازى مع الدم وبالتالي يعتبر جزءا مواتا.
- **Alveolar pressure** : ضغط الهواء فى الحويصلات الهوائية.
- **Alveolar ventilation** : حجم الهواء الجوى الداخل إلى الحويصلات الهوائية كل دقيقة.
- **Alveoli** : وهى حوصلة داخل الفدة القلبية والتى تحوى على الخلايا المارزة للبن.
- **Alveolus** : الحويصلة الهوائية : وهى تتفرع من الممرات النهائية فى الرئة وتتميز بجدار رقيق ويكون ممتلئة بالهواء.
- **Amin hormone** : هرمون أمينى : هرمون مشتق من الحمض الأمينى Tyrosine وهى مجموعة من الهرمونات تشمل هرمونات الغدة الدرقية T_4 و T_3 وهرمونى الأبينفرن والنور إبينفرن والدوبامين.
- **Amino acid** : للحمض الأمينى : وهى وحدة تركيب البروتينات ويتكون الجزيء من مجموعة أمينو ومجموعة كربوكسيل ومجموعة جانبية متصلة بجزيء كربون.
- **Amino group** : مجموعة الأمينو NH_2 وتتأين إلى NH_3^+ .
- **Aminoacyl-t RNA synthetase** : إسم عام لمشيرين إلى زوج كل منها يقوم بتحليل قيام رابطة تكافؤية بين الحمض الأمينى والحمض النووى الرسولى المختص أثناء عملية بناء البروتينات.
- **Aminopeptidase** : ولحد من حالة الإنزيمات الموجودة بالغشاء الطلائى المبطن للأمعاء ويقوم بتكسير الروابط الببتيدية فى النهاية الأمينية لمتحدات الببتيد.
- **Ammonia** : للنشادر : يتم تركيبها خلال عملية تكسير الأحماض الأمينية وتتحول فى الكبد إلى يوريا Urea. وحالتها المتأينة تسمى أمونيوم.
- **Amnesia** : حالة فقدان الذاكرة.
- **Amniotic membrane** : الغشاء المخلف للجنين فى الرحم

- **Amphetamine** : دواء (مُحَرِّك) يقوم بزيادة التوصيل إلى الهرمونات المنشطة المعتمدة على هرموني **Epinephrine & norepinephrine**.
- **Amphipathic molecule** : جزيء يحتوي على مجموعة مثالية أو قطبية في إحدى نهايتيها ومجموعة هيدروكربونية في النهاية الأخرى.
- **Amylase** : إنزيم الأميليز ويقوم بتكسير جزيئ السكريات المعقدة.
- **Anabolic steroid** : مرادف شبيه بهرمون **Testosterone** تقوم بحفز بناء البروتينات.
- **Anabolism** : وهي عملية تمثيل غذائي تقوم بواسطتها الخلايا الحية بتكوين جزيئات كبيرة من جزيئات صغيرة أي هي عملية بناء.
- **Anaerobic** : لا هوائي (أي غير وجود الأكسجين)
- **Analgia** : تسكين والقضاء على الألم أي وجود الوهي.
- **Analogous** : وهي مادة كيميائية عادية ما تكون مستمدة وتقوم هذه المادة بأداء نفس الوظيفة التي يؤديها الهرمون عن طريق ارتباطها بالمستقبل الخاص بالهرمون.
- **Anatomic dead space** : مساحة في قنوات الجهاز التنفسي جدرانها لا تسمح بقبول الغازات مع الدم.
- **Androgen** : اسم عام يعطى الهرمونات الأندرويدية والتي تنشأ ظهور صفات الجنس للذكورة وبالتالي لهرمون **Testosterone** عبارة عن **Androgen**.
- **Androgen-Binding Protein (ABP)** : وهو بروتين متخصص يكون بتنشيط هرمون **FSH** الغنصية والذي يؤدي بدوره إلى تنشيط **Adenyl cyclase** - **AMP**. وهذا البروتين يقوم بربط الهرمون الذكري **Testosterone** في **Epididymis** وذلك للمحافظة على إستدامة الحيوانات المنوية المنتجة.
- **Androstanes** : وهي مجموعة من الهرمونات الإسترويدية تحتوي على عدد 19 ذرة كربون في تركيبها.
- **Androstenedione** : هرمون ذكري يفرز بواسطة الغدة الجاردرية ويحتوي مرحلة وسطيية في تخليق هرمونات الجنس الإسترويدية. كما أنه يتحول إلى هرمون الإستروجين في السويج الداخلي.
- **Anemia** : فقر الدم (أو نقص نسبة الهيموجلوبين في الدم أو نقص كمية الأكسجين الواسطة لخلايا الأنسجة).
- **Anemic hypoxia** : نقص في نسبة الأكسجين في الدم مع بقاء ضغط الأكسجين في الدم الشرياني ثابتا.
- **Angina pectoris** : ألم في الصدر مصحوب بنقص في الدم الواسل لعضلة القلب.
- **Angiotensin converting enzyme** : إنزيم موجود في الخلايا الطلاكية للشعيرات الدموية ويقوم بتحفيز إزالة حمضين أميين من **Angiotensin I** ليتحول إلى **Angiotensin II**.
- **Angiotensin I** : ينتج يتم تخليقه في بلازما الدم بواسطة عمل هرمون الرنين **Renin** على الأنجيوتنسينوجين **Angiotensinogen**.
- **Angiotensin II** : هرمون يتم تخليقه عن طريق تحويل **Angiotensin I** إلى **Angiotensin II** بواسطة إنزيم يسمى **Angiotensin converting enzyme**. ويقوم هرمون **Angiotensin II** بتنشيط تخليق وإفراز

هرمون Aldosterone من كثرة الفدة الجاركلوية. كما يسبب إنقباض الخلايا القرونية المنشأة الخاصة ويسبب الإحساس بالعطش.

• **Angiotensinogen** أنجيو تانسينوجين : بروتين بلازما ويحتر سابقا لتكون الأنجوتنسين

• **Angiotensin** : حارة من بروتينات يتجهها الكبد وهي هامة لتنشيط فرز هرمون Aldosterone.

• **Anion** : جزئ مشحون بشحنة سالبة.

• **Anoraxia Nervosa** : وهو مرض إقطاع دم الحوض أو الطمث ويسبب هذا المرض حالة نفسية (عصبية) أدت لقد الشهية للطعام الأمر الذى يؤدى للنقص الغذائى (أى ينتج عن حالة غذائية سيئة).

• **Antagonism** : وهي علاقة تضاد بين هرمونين أى وظيفة بيولوجية معجلة مثل هرمون الأسواين يسبب نقص سكر الدم وهرمون النمو يسبب زيادة سكر الدم.

• **Antagonist** : معناه مضاد للوكان لمضلة Muscle لتكون عضلة ذات حركة مضادة للحركة المطلوبة ولو كان لدواء (عقار Drug) أثير جزئ يتنافس مع آخر على مستقبل حيث يقوم بالإرتباط به ولكنه لا يحفز رد فعل الخلية. أو هي مادة يمكنها تثبيط عمل الهرمون عن طريق إنقاف عمل الـ Receptor side الخاص به.

• **Anterior** : أمامي.

• **Anterior pituitary** : الغص الأمامى للغدة النخامية : ويقوم بتخليق وإفراز ستة هرمونات بهيئدية على الأكل معروفة حتى الآن وهي GH & FSH & TSH & LH & PRL & ACTH.

• **Antibody** للجسم للمضاد : وهو حارة من بروتينات مناعية Immunoglobulin تفرز بواسطة خلايا البلازما وتتحد مع الأجسام الغريبة والتي تعتبر أى نفس الوقت المحفز لإفرازها.

• **Anticodon** : ترتب ثلاثى للبروكايوتيدات Neucleotide فى الحمض النووى الريبوسومى T-RNA كمال للإزدواج والتكامل مع الكودون الموجود فى RNA الرسول (m-RNA) خلال عملية بناء البروتينات.

• **Antidiuretic Hormone (ADH)** الهرمون المانع للتبول : هرمون عصبى Neurohormone يفرز من الهيبيرثالام (تحت المهاد البصرى) ويخزن فى الغص الخلقى للغدة النخامية وهو مختص بتنظيم الإيزان المسمى فى الأنسجة فهو يعمل على إعادة امتصاص الماء فى الكلية - والمستوى المالى من الهرمون يسبب إنقباض الأوعية الدموية Vasoconstriction لذا أليسمية اليض Vasopressin .

• **Antigen** : أى جزئ غريب يقوم بإستثارة الجهاز المناعى.

• **Antigen presenting cell** : خلية تقوم بإظهار الجسم الغريب على سطحها حيث يتحد مع بروتينات خاصة.

• **Antithrombin** : بروتين مضاد لتجلط موجود فى البلازما يثبط الثرومبين.

• **Antrum** : فى المعدة : أثير الجزء السفلى من المعدة الغريب من صمام البواب وفى المبيض هو تجويف ملى بمائل فى حويصلة البويضنة الناضجة.

• **Aorta** : أكبر شريان فى الجسم يحمل الدم من البطين الأيسر إلى الرئة والبطن.

• **Aortic arch baroreceptors** : مستقبلات الضغط بالقوس الأورطى.

- **Aortic body chemoreceptors** : مستقبلات كيميائية موجودة بجوار القوس الأورطي حساسة لتغيرات ضغط الأكسجين في الدم الشرياني وتركيز أيونات الهيدروجين الموجبة H^+ .
- **Aortic valve** : صمام بين البطين الأيسر للقلب والشريان الأورطي.
- **Aphasia** : تلمش في الحديث ليس ناتجاً عن تخلف عقلي أو ضعف عضلي.
- **Apnea** : توقف التنفس.
- **Appendix** : الزائدة الدودية : وهي زائدة أصبحه صغيره تفرج من المصران الأعور بالأعواء الغليظة.
- **Apud Cells (Amine-Precursor Uptake And Decarboxylation Cells)** : خلايا موجودة في غدد صماء معروفة في الغشاء الهضمية ولها سكن أخرى وتتضمن خصائصها البيوكيميائية **The uptake and decarboxylation of amines**.
- **Aqueous** : مائي.
- **Arachidonic acid** : حمض دهني غير مشبع **Polynsaturated fatty acid**.
- **Area Of The Hypothalamus** : جزء من تحت المهاد البصري مختص بوظيفة معينة حيث تنقسم إلى **Hypothalamus** إلى عدة مناطق أو أجزائه كل جزء مختص بالفراز نوع أو أكثر من الـ **Neurohormones** والتي تسمى **Releasing or Inhibiting Hormones**.
- **Arrhythmia** : أي إختلاف عن معدل ضربات القلب الطبيعي.
- **Arterial baroreceptors** : نهايات حسية حساسة للضغط الناتج عن التغير في ضغط الدم الشرياني وهي توجد في جزء من الشريان الفرجي أو في القوس الأورطي.
- **Arteriole** : وعاء دموي واقع ما بين الشريان والشعيرة الدموية وهو محاط بخلايا عضلية ناعسة ويعتبر الموقع الأولي للمقاومة الوعائية الدموية.
- **Artery** : وعاء دموي مطلق سموك الجدار يصل الدم من القلب إلى الشرايين.
- **Ascending limb** : جزء من حزمة هالي **Loop of Henle** تتبع للأنيب الكلية ويؤدي إلى الأنابيب الثلاثة البعيدة.
- **Ascending pathway** : مسار حسي صاعد إلى المخ ويطلق عليه أيضاً المسار الحسي.
- **Aspartate** : رسول كيميائي عصبي مخزن في الجهاز العصبي المركزي ينتج عن تأثير الحمض الأميني أسبارتك **Aspartic acid**.
- **Asthma** : مرض يتميز بإختلاف شديد للممرات الهوائية وإستناد الممرات الهوائية.
- **Atmospheric pressure** : ضغط الهواء المحيط بالجسم (٧٦٠ مم زئبق عند سطح البحر).
- **Atom** : الذرة وهي أصغر وحدة في المادة فيها الفرواق المتفرقة الكيميائية ولا تحمل شحنة وتتحد مع الوحدات الأخرى لتكون كل المواد الكيميائية.
- **Atomic mass** : الكتلة الذرية : القيمة التقريبية التي تبين كتلة الذرة بالنسبة لكل أنواع أخرى من الذرات معتمدة على أساس قيمة ١٢ إلى الكربون.

- **Atomic nucleus** : منطقة كثيفة تحوى على بروتون ونيوترون فى مركز الذرة.
- **Atomic weight** : القيمة التقريبية التى تبين كتلة الذرة بالنسبة لأنواع كتل أخرى من الذرات معتمدة على أساس قيمة ١٢ إلى الكربون.
- **ATPase** : إنزيم يحفز تفتيت الأدينوسين ثلاثى الفوسفات إلى ادينوسين ثنائى الفوسفات وفوسفات عضوى.
- **Atresia** : وهى عملية تدمير أو عدم لحد حوصلات مبيضية.
- **Atrial natriuretic Factor (ANF)** : هرمون ينتجى بفرز بواسطة خلايا إين القلب كاستجابة لإنتفاخ الأذين وحمل الهرمون على زيادة الأخراج الكلى للصوديوم.
- **Atrioventricular (AV) node** : منطقة عند قاعدة الأذين الأيمن بالقرب من الحاجز بين البطينين تحوى على خلايا عضلية قلبية متخصصة بدر من خلالها للنشاط الكهربائى ليوصل من الأذين إلى البطين.
- **Atrioventricular valve (AV valve)** : صمام بين إين وبطين القلب. فى الجانب الأيمن من القلب يكون الصمام ثلاثى الشرفات وفى الجانب الأيسر يسمى الصمام الميترالى.
- **Atrium الأذين** : حجرة فى القلب تستقبل الدم من الأوردة وتحموه إلى البطين فى نفس الجانب من القلب.
- **Atrophy ضمور** : تناقص فى الحجم.
- **Auditory** : خاص بحاسة السمع.
- **Auditory cortex** : منطقة من القشرة المخية التى تتلقى الألياف المصبية من المسار الخاص بالسمع.
- **Autocrine agent** : هرمون أو رسول كيميائى أو موصل كيميائى يفرز فى السائل المحيط بالخلايا ويصل ذاتها على الخلية التى تفرزه.
- **Autoimmunity** المناعة الذاتية : وهى تمى التوقع الذى لا يتمرف فيه الجهاز المناعى على أجسام الخلايا نفسها ويهاجمها كمواد غريبة ومثال ذلك امراض الغدة الدرقية ناتجة عن إضطراب المناعة الذاتية.
- **Automaticity** : كفاية الإثارة للنسبة الدورية.
- **Autonomic nervous system** : جزء من النوع القاعل (إبن المركز إلى الطرف) Efferent للجهاز المصبى الطرفى ويتكون من فرعين الودى والظفر ودى ويبحث بإشارات إلى عضلة القلب والعضلات الناعسة والغدد.
- **Autoreceptors** : مستقبلات على الخلية تتكثر وتربط بالرسائل الكيميائية المنتجة من الخلية نفسها.
- **Autoregulation** : كفاية العضو الواحد على أن ينظم بنفسه (ذاتيا) المقاومة الدموية أو تركيز مكون ما غير معتمدا على المؤثرات المصبية والهرمونية.
- **Aversive motivation** : هدف موجه وهو عبارة عن هروب لتلكى حذوان.
- **Avidin** : وهو الناتج النهائي لهرمون البروجسترون بعد تفاعله فى كفاء المبيض للحجاجة.
- **Axon terminal** : نهاية محور Axon وصل نقطة إنبهاك عصبى مع ما بعد نقطة إتصال الخلية.
- **Axon transport** النقل المحورى : وهو عملية إنتقال المواد بواسطة الفئسحات التى بدللل الخلية من أحد أطراف المحور Axon إلى الطرف الأخر.

- **Axon المحور** : إمتداد من جسم خلية عصبية توصل التأثير الجهدى من جسم الخلية وتسمى أيضا كواب عصبية.
- **Axoplasmic Transport** : وهو نظام وحيد من اوجه الانتقال لدخل خلايا عصبية (يحدث بها تصورات سيكولوجية بحيث أصبحت لها القدرة على الإلتزام وتسمى (Neurosecretory cells (NSC وفى هذا النظام يتم نقل حمزة أو مجموعة من الجزيئات الغام على طول الـ axon اخفية الـ NSC إلى الدورة الدموية.
- **β -endorphin** : هرمون يفرز من القوس الأمامى للدماغ ويتم نقله كجزء من جزيء كوبر يسمى Proopiomelanocortin وحيداً أنتج له يفرز أيضا من البنس.
- **B-cell خلايا B** : فى الجهاز المناعى وهذه نوع من خلايا كريات الدم البيضاء والتي حدد تنشيطها تقسم وتتمايز إلى خلايا بلازما مفرزة للجسم المضاد.
- **B-lymphocytes الخلايا اللمفاوية (ب)** : نوع من الخلايا اللمفاوية التي تتحول لخلايا بلازمية عندما تنعرض للأنكوجين.
- **Bacteria البكتريا** : خلية وحيدة غير مميزة القواة المادة الوراثية DNA فيها توجد على شكل خيط دائرى ولهذه الخلية جدار مع قليل من الصفيحات السيكلوبلازمية.
- **Baroreceptors** : خلايا عصبية موجودة فى القلب والأوعية الدموية وهذه الخلايا تتأثر بضغط الدم وحجمه. أى هى مستقبلات حساسة للضغط وللتغير فى الضغط.
- **Basal** : مستوى الراحة.
- **Basal body** : مستودع Organelle موجود فى قاعدة الهذب الوسط (فى الحيوان المنوى) ويتكون من تسعة ألياف دائرية Microtubules تتراص فى شكل دائرى وكل واحدة من التسعة تتكون من ثلاثة ألياف دقيقة.
- **Basal metabolic rate (BMR)** : معدل التمثيل القاعدي : معدل العمليات الميتابوليزمية (عمليات البناء والهدم أو العمليات الأيضية) عندما يكون الشخص فى حالة راحة عقلية وجسدية (استراة) بشرط ألا يكون نائم وأن يكون جالس فى غرفة بها درجة الحرارة الموائمة له وأن يكون ممتنع عن الطعام لمدة ١٢ ساعة على الأقل ويسمى الـ BMR أيضا الـ Metabolic cost of living.
- **Basement membrane** غشاء أساسي : عبارة عن طبقة بروتينية خارج خلوية رقيقة يرتكز عليها الخلايا الطلائية والخلايا الطلائية المبيلة للشميرات النوية Endothelial cells.
- **Basilar membrane** : غشاء يدعم قشرة قوقعة الأذن الداخلية.
- **Basophil** : خلايا منتجة الهرمونات موجودة فى القوس الأمامى للدماغ وهى موجبة للصفيحات القاعدية. هذه الخلايا تنتج هرمونات TSH & FSH & ACTH & LH.
- **Behavior** : السلوك : ويمكن أن يكون سلوك ناتج عن إستجابة لتغير بيئى أو هو تصرفات تصدر من الحيوان أو الإنسان كنتيجة لتغير مؤثر خارجى.
- **Benign tumor** ورم حميد : إقسام وانساعف غير طبيعى للخلايا ولكنه لا يشبه الورم السرطاني لأن الخلية فى هذا النوع من الأورام توقف الإقسام بعد حد معين ويبقى الورم فى موضعه.
- **Beta cells** : خلايا موجودة بجزر لانجرهانز بالبنكرياس وتفرم بإفراز هرمون الإنسولين.

- **Beta oxidation** : سلسلة من التفاعلات التي تولد الهيدروجين من تكسير الأحماض الدهنية إلى $AcetylCo A$.
- **Beta-adrenergic receptor** : مستقبل موجود على غشاء الخلية البلازمية ويرتبط هذا المستقبل بهرمون **Epinephrine and norepinephrine** وينشط هذا الارتباط تكوين **Cyclic AMP** كرسول ثنائي **Second messenger**.
- **Bicarbonate** : رمزا HCO_3 .
- **Bile canaliculi** : قنوات صغيرة توجد متلصقة (قريبة أو بجوار) خلايا الكبد حيث يمر فيها العصارة الصفراوية.
- **Bile fluid** : سائل ينتج بواسطة الكبد ويتم تركيزه وتخزينه في الحوصلة الصفراوية.
- **Bile pigment** : مادة ملونة ناتجة من تحطيم مجموعة الهيم في جزئ الهيموجلوبين وتفرز هذه المادة في العصارة الصفراوية.
- **Bile salts** : أملاح الصفراء : عبارة عن إسترويدات تنتج بواسطة الكبد وتخزن في الحوصلة الصفراوية وتفرز في الأمعاء الدقيقة حيث تقوم بإستحلاب الدهون وهذه الخطوة ضرورية لبدء فعل الإنزيمات الهاضمة على الدهون.
- **Bile** : العصارة الصفراوية أو الصفراوية : سائل يفرز من الكبد يحتوي على البيكربونات وأملاح الصفراء والكوليسترول والليبسين وصيغة صفراوية وبعض الفاتح للذهابئة لعمليات الميتابولزم وبعض المعادن النادرة.
- **Bilirubin** : مادة صفراء ناتجة من تكسير الهيم وإلرازاها في العصارة الصفراوية كصبغة لها.
- **Binary Fission** : إنقسام خلايا البكتريا.
- **Binding site** : موقع بروتيني ترتبط به الرسائل الكيميائية.
- **Bioassay** : وهي طريقة من طرق قياس الهرمونات وتعتمد هذه الطريقة على قياس التغيرات التي تحدث في جهاز معين في جسم الحيوان الحي كقائمة ذهابة.
- **Bioclectric impulse** : نبضات عصبية ناتجة عن تدفق أيونات الصوديوم على طول غشاء الخلية العصبية.
- **Biogenic amine** : واحد من عائلة النقلات العصبية يحتوي في مداخلته الأساسية على $R-NH_2$ ويشمل النوايين والأينفرن والثوريينفرن والسيروتونين والهيستامين.
- **Biological clock** : الساعة البيولوجية : خلايا عصبية تعمل في غياب التنبيه الخارجي وهي المسؤولة عن حدوث الإيقاعات المختلفة بالجسم.
- **Biomass** : الوزن الجاف لمادة حية في النظم البيئية.
- **Biopedal** : ذو القدمين : أي يمشي على زوج من الأرجل.
- **Biorhythms (Biological cycles)** : وهي عبارة عن عملية ذبذبت فسيولوجية طبيعية.
- **Biosphere** : منطقة على الأرض التي تدعم الحياة، وتوجد في منطقة الوصلة للأتوموسفير، والليولوسفير والهيدروسفير.
- **Biotic Factor** : العامل الحيوي : وهو الجزيئات أو المكونات الحيوية للنظام البيئي.
- **Birth control pill** : حبوب منع الحمل : وتؤخذ عدة لتثبيط التبويض والحجوب للشجامة التي تؤخذ هي التي تحتوي على الإستروجين والبروجسترون المصنع.

- **Birth defects** : خلل أو عيب الحمل وهو الخلل الطبيعي أو البيولوجي في حديثي الولادة ويحدث نتيجة عوامل متغيرة بيولوجية وكيميائية وطبيعية.
- **Blastocyst** : كرة مجوفة من الخلايا وهي تتكون من الجسم ثنائي Morula أثناء المراحل الجنينية وتتكون من كتلة داخلية من الخلايا وتروفوبلاست.
- **Blood clot** جلطة الدم : وهي عبارة عن كتلة من الفيبرين تحتوي على الصفائح الدموية وكريات الدم الحمراء والخلايا الأخرى وتتكون على جدار الأوعية الدموية المجرورة.
- **Blood** الدم : شكل خاص من السجج الضام ويتكون من كريات الدم البيضاء والصفائح الدموية وكريات الدم الحمراء والسائل الذي تسمح فيه ويعرف بالبلازما.
- **Blood-Testis Barrier** : من الحاجزة التشريحية هو نظام متشابك ببعض وشديد الإحكام والذي يمنع أي مادة من ملامسة الخلايا الملتجة للحويصلات المئوية.
- **Bone** : العظام كعضو هو عبارة عن تركيب يتكون من خلايا عظمية ويدم الجسم بحماية داخلية (أو لدعم للعضو) ويحمي أعضاء الجسم الداخلية المختلفة كما يساعد على المحافظة على الإتزان الداخلي Homeostasis لكاسيوم الدم. أما العظام كسجج لهم يتكون من مادة متكلسة مع خلايا الأوستيوسيت Osteocytes مضمرة فيه.
- **Bowman's Capule** كبسولة بومان : تركيب كاسي الشكل يوجد في الكلية وتساعد في الترشيع للكلوى.
- **Bowman's space** فراغ بومان : تجويف يقع بين الطبقة الداخلية والخارجية لكبسولة بومان.
- **Brain Hormone** بروماتين منظم يعمل كحامل مطعمة ينتج في الجهاز العصبي المركزي. وينتج هذا الهرمون أيضا من الـ Neuroendocrine cells الموجودة في النخاع الخلفي للدماغية وفي الـ Median eminence .
- **Brain stem** ساق المخ : أجزاء من المخ التي تتكون من النخاع وكتلة من الألياف العصبية الموجودة في المخ وهي عبارة عن تركيبات بنائية مثل مركز التحكم في التنفس والجهاز للشبكية التي تتحكم في العديد من العمليات القاعدية للجسم.
- **Braxton - Hicks contractions** : إنقباضات بركستون هكس وهي إنقباضات تحدث قبل ولادة الطفل بشهرين أو شهرين وتعرف بالولادة الكاذبة.
- **Breath birth** : ولادة الطفل في حالة خروج أرجله أولا.
- **Breathing center** مركز التنفس : تجمعات من الخلايا العصبية في ساق المخ التي تتحكم في التنفس.
- **Bronch** الشعب الهوائية : وهي قناة توصل الهواء من القصبة الهوائية إلى الشعبات الهوائية.
- **Bronchioles** الشعبات الهوائية : قنوات صغيرة في الرئة (أسفر قنوات موجودة في الرئة) وجدورها الداخلي من العضلات الملساء التي تنقبض وتبسط لتنظيم دخول الهواء في الرئة.
- **Bruce effect** وهي ظاهرة تكثير القرومونات على الحمل في الفئران في حالة تمرض فئران حديثة التلقيح لقرومونات تكور من مثانة مغلقة ليوتوقف أو لا يحدث الحمل.
- **Buffer** : مخزن أو قاعدة ضعيفة وتوجد في صورة متحللة أو غير متحللة.
- **Bulk Flow** : تحرك للسوائل أو الغازات من منطقة عالية الضغط إلى منطقة منخفضة الضغط.

- **C-Cells** : خلايا الغدة الدرقية خارج الحويصلات وتقوم بإفراز هرمون **Calcitonin**.
- **Calcitonin (CT)** هرمون الكالسيتونين : هرمون غدي الببتيد ويفرز من الغدة الدرقية من خلايا خارج حويصلات الغدة الدرقية وتسمى هذه الخلايا **C cells** وبه إفراز هذا الهرمون زيادة مستوى الكالسيوم في الدم والهرمون يسبب نقص تركيز الكالسيوم والفوسفات في الدم.
- **Calcium-Binding Protein (CalBP)** وهو بروتين يطلق بواسطة خلايا **Intestinal mucosa** كتنجيته كتنبيها بالصورة النشطة من فيتامين **D** (**1,25, DHCC**) .
- **Calmodulin** كالمودولين : عبارة عن بروتين متحد مع الكالسيوم لدخل الخلية ويسهل أو يكون وسيط (كرسول ثنائي **Second messenger**) في وظيفة الكالسيوم.
- **Caloric (المعبر)** : وحدة قياس الطاقة : وهي كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة واحد جرام من الماء درجة مئوية واحدة.
- **Calorigenic effect** : زيادة في السعرات الأيضية (المتابولزمية) ناتجة عن هرمون الأبينفرين أو هرمونات الدرقية.
- **Candidate hormone** : مادة تلتزم أن تكون هرمون ولكن لم يثبت ذلك بعد.
- **Capacitation** : عدة تغيرات تحدث للحيوان الملقى لدخل القناة التناسلية في الأنثى وهذه التغيرات تسبب إخصابه وتكرهه على إخصاب البويضة.
- **Capillary** الشعيرة الدموية : أسيار نوع من الأوعية الدموية.
- **Carbonic anhydrase** : إنزيم ينشط للتفاعل الآتي : $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ يدعى بـ **Carbonic anhydrase**.
- **Carboxyl group** : مجموعة الكربوكسيل : COOH وتتأين إلى أيون الكربوكسيل COO^- .
- **Carcinogen** : العامل المسرطن أو المرطقي : أي عامل يمكن أن يحدث تحول سرطاني في الخلايا.
- **Cardiac cycle** : الدورة القلبية : تتألف إخصابه واحدة وإبسلطة واحدة في القلب.
- **Cardiac muscle** : عضلة القلب أو العضلة القلبية.
- **Cardiac output** : وهو كمية الدم المتدفقة عن طريق كل بطين في الدقيقة الواحدة (وهو ليس كمية الدم المتدفقة عن طريق البطينين معا).
- **Cardiac** قلبي : أي شيء متعلق بالقلب.
- **Cascade** : سلسلة من الأحداث المتتالية التي يحدث خلالها زيادة في المواد الناتجة للتفاعل في خطوة أو عدة خطوات.
- **Catabolism** الهدم : عملية ميتابولزمية تقوم فيها الخلية المحية بتكسير الجزيئات الكبيرة إلى جزيئات صغيرة.
- **Catalyst** المساعد : مادة تشرح من التفاعل الكيميائي ولكنها لا تدخل في التفاعل الكيميائي.
- **Catalytic Subunit** : جزء من **Protein Kinase** والذي ينشط بواسطة **cAMP** (أي أن **cAMP** تقوم بتنشيط هذا الجزء من **Protein Kinase**).

- **Catecholamine** : عائلة هرمون الأبينفرين والنور إبينفرين والدوبامين والمواد التي لها نفس التركيب الكيميائي. لوهي عبارة عن أميدات بها **Catechol (1-2 dihydroxy benzene) base**.
- **Cation** كاتيون : أيون موجب للشحنة.
- **Cecum** الأمعر : كيس متسع في بداية الأمعاء الغليظة حيث يفتح القولون والقولون والزندة الدودية.
- **Cell adhesion molecule (CAM)** : جليكوبروتيين هام في تطور الجهاز العصبي.
- **Cell body** جسم الخلية : هو الجزء الموجود به القنوة في الخلايا التي لها إمتداد طولي (مثل الخلايا العصبية).
- **Cell Membrane Receptor** مستقبل غشاء الخلية : مستقبل موجود على جدار الخلية وهو متخصص اربط الأنواع المختلفة من الهرمونات البروتينية والبيبتية .
- **Cell organelles** العضيات الخلوية : عبارة عن تركيب خلوية موجودة في سيتوبلازم الخلية من أمثلتها الميتوكوندريا والليسوسوم والشبكة الإندوبلازمية... الخ.
- **Cellulose** السيلولوز : يتكون من عدد من جزيئات سكر الجلاوكوز ويوجد في الخلية النباتية.
- **Cardio Vascular Center** مركز الوعاء القلبي : مجموعة أو حزمة من الأعصاب في النخاع المستطيل بالمخ وتحمل كمركز رئيسي متكامل لمخس مؤثرات القلب والأوعية الدموية.
- **Center of gravity** : نقطة في الجسم يكون عندما الجسم في توازن تام وصحيح ولو كان الجسم معلق من هذه النقطة في الهواء لآن يكون هناك أي حركة.
- **Central chemoreceptor** : مستقبل موجود في النخاع المستطيل يساق للمخ. وهذا المستقبل يستجيب للتغيرات في تركيزات أيون الأيدروجين H^+ في السوائل الخارج خلوية بالمخ.
- **Central nervous system (CNS)** الجهاز العصبي المركزي : ويتكون من المخ والجعل لشوكي.
- **Central thermoreceptors** : مستقبلات حرارية موجودة في منطقة تحت المهاد **Hypothalamus** والجعل لشوكي (النخاع لشوكي) والأعضاء البطنية وبعض الموالع الأخرى الداخلية بالجسم.
- **Centriole** حبيبة في وسط النوية المركزية : وهي عبارة عن جسم سيتوبلازمي صغير تتجه منه الخارج لسمعة أنقل متكونة من الأنابيب النوية **Microtubules** ويشترك في إتساع القنوة والخلية.
- **Cerebellum** المخيخ : جزء من المخ يقع خلف المخ الأمامي وفوق ساق المخ ويختص بالتحكم في حركة العضلات.
- **Cerebral cortex** القشرة المخية : طبقة خلوية تنطلي المخ.
- **Cerebrospinal Fluid** السائل المخي لشوكي : سائل يملأ بطون المخ والشهوف الذي يوجد تحت الغشاء لشوكي الذي يحيط بالمخ والنخاع لشوكي.
- **Cerebrum** المخ : جزء من المخ وهو مع الجزء القلبي من مقدمة المخ يكونان المخ الأمامي.
- **Cervix** عنق الرحم : وهو الجزء العالي من الرحم وهو عبارة عن أنحة خنقوة توصل بين الرحم والشهوف المهبل.

- **Channel gating** : هي عملية فتح وغلق القنوات الأيونية.
- **Channel** قناة : ممر صغير يوجد في الغشاء البلازمي الخلية وهو يتكون من غشاء من البروتين المتنام ومن خلاله يمكن أن تمر الجزيئات ذات القطر الصغير كما تنتشر من خلاله الأيونات أيضا.
- **Chemical bond** الرابطة الكيميائية : وهي تفاعل بين القوى الكهربائية للذرات الموجودة في الجسيمات وتتمسك الذرات المتجوطة معا في جزيء واحد.
- **Chemical element** : نوع خالص من الذرات.
- **Chemical equilibrium** : حالة يكون عندها معدلات التفاعل الأمامي ونواتج التفاعل متساوية ولا يوجد تحسن في المتفاعلات أو في نواتج التفاعل.
- **Chemical reaction** التفاعل الكيميائي : وهو عبارة عن تكسير بعض الروابط الكيميائية وإنتاج روابط كيميائية جديدة وهذه العملية تحول نوع من الجزيئات إلى نوع آخر.
- **Chemical specificity** التخصص الكيميائي : وهي خاصية الانتخاب الكيميائي وهي عبارة عن قابلية أحد مواقع الارتباط للتفاعل مع واحد فقط أو عدد محدود من الجزيئات.
- **Chemical synapses** التشابك العصبي الكيميائي : وهي نقط الإقتران (التشابك) العصبي الذي يفرز فيها الناقل العصبي من أحد الخلايا العصبية وينتشر في فراغ نقطة الإقتران ليؤثر على الخلية العصبية الأخرى.
- **Chemoreceptor** : خلية عصبية تستجيب للتغيرات البيئية الكيميائية. ويمكن تحريضها أيضا على أنها نهاية عصب ناقل حساس لتركيزات في بعض الكماليات.
- **Chemotaxis** : أي مواد كيميائية تحدث إجذاب كيميائي.
- **Chemotaxis** الإجذاب الكيميائي : حركة الخلايا خالصة الخلايا المتجهة في اتجاه معين كاستجابة لتنبيه أو مؤثر كيميائي.
- **Chief cell** : خلية الغدة للمعدة التي تفرز الببسينوجين وهو الـ Precursor للببسين.
- **Chief Cells** : خلايا جارات الغدة الدرقية والتي تفرم بالراز هرمون (PTH) Parathyroid hormone .
- **Cholecalciferol** : صورة وسطية للبتامين D النشط (أو بمعنى آخر في الجلد يوجد Steroid عبارة عن Provitamin D يسمى 7-dehydrocholesterol هذا الأسترويد يتحول بواسطة أشعة الشمس فوق البنفسجية (Ultraviolet) إلى Cholecalciferol وهو (Vitamin D₃) .
- **Cholecystokinin (CCK)** : هرمون القناة الهضمية الذي يفرم بتنشيط المثانة لتفريغ محتوياتها ، كما يوجد في لمدج الـ Cerebral cortex حيث أن له علاقة بتنظيم الشهية للطعام.
- **Cholesterol** الكوليسترول : جزيء إسترودي يتكون من ٢٧ ذرة كربون وهو عبارة عن المادة الخام التي يتكون منها كل الهرمونات الإسترويدية وبعض مكونات العصارة الصفراوية وبعض مكونات الغشاء البلازمي.
- **Cholinergic** : متعلق بالأسيتل كولين، أو أي مركب يعمل بطريقة مشابهة للأسيتل كولين.
- **Chondrocyte** : نوع من الخلايا التي تكون غضروف جديد.

- **Chorionic Somatomammotropin (CS) :** هورمون يفرز من المشيمة **Placenta** وينشط نمو وتطور الغدد البنية وتكوين اللبن في الثدي اللبنية.
- **Cheroid plexus :** عبارة عن تركيب وهلي شام يملأ أجزاء من البطينات السفلى ويسلول عن المزيد من تكوين السائل المخي الشوكي.
- **Chromaffin Cells :** خلايا مفرزة الهرمونات في نخاع الغدة الجار كظرية وتقوم بإفراز هرموني **Epinephrine and norepinephrine** وهي عبارة عن خلايا عصيبة حدث بها تحورات سيتولوجية بحيث أصبحت لها المقدرة على الإفراز وتسمى **Neurosecretory cells (NSC)** وسميت هذه الخلايا **Chromaffin** لأنها موجبة للتفاعل مع البروسيوم داي كرومات **Potassium dichromate**.
- **Chromatid الكروماتيد :** واحد من خطين متطابقين من الكروماتين والفلجان من تضاعف الـ **DNA** عن طريق الإنقسام الميتوزي أو الإنقسام الميوزي.
- **Chromatin الكروماتين :** الكروماتين الخاص بالحمض النووي **DNA** وبروتينات الفواء مما المكونان الرئيسيان للكروموسومات.
- **Chromatography :** هي طريقة لفصل مخلوط معقد من المواد إلى مكوناته الأصلية.
- **Chromophobes :** خلايا في الفص الأسامي للغدة الفخامية لا تصبغ بالصبغات الحمضية ولا للقاحية وهذه الخلايا لم يثبت حتى الآن أنها تقوم بإفراز أي نوع من الهرمونات ويفترض أنها غير موجودة في الغدة الفخامية للإنسان والبعض يرجح أن تكون موجودة بصفة إعتيادية بحيث أنها ممكن أن تتحول لأي من خلايا الـ **Basophils or acidophils**.
- **Chromosome الكروموسوم :** حيزون كثيف من الكروماتين يتم إنتاجه في نواة الخلية أثناء الإنقسام الميتوزي أو الإنقسام الميوزي.
- **Chronic :** مزمين يتولد لمدة كبيرة (بالمنع يختلف عن الحاد **Acute**).
- **Chyme الكيموس :** الكتلة الغذائية بالمعدة بعد هضمها.
- **Chymotrypsin الكيموتريبسين :** إنزيم يفرز من البنكرياس ويسهل على تكسير الروابط الببتيدية في البروتين والسلاسل المتعددة الببتيدية.
- **Cilia أهداب :** تشبه الشعيرة وتخرج من سطح بعض الخلايا الطلاكية وحركة هذه الأهداب تكس المواد الضارة بالقسمية الهوائية الخارج كما تساعد على نقل الحيوان المنوي من مكان لقذف إلى مكان الإخصاب.
- **Circadian :**
- **Circadian Rhythm :** إيقاع بيولوجي يحدث مرة تقريباً كل ٢٤ ساعة ومثالا لذلك يزداد مستوى هرمون الكورتيزول في الإنسان في الصباح ويقل في المساء ويتكرر ذلك يوميا.
- **Citric acid cycle دورة حمض الستريك :** هي دورة كرب **Krebs cycle** أو **Tricarboxylic acid cycle**.
- **Climacteric :** هي عبارة عن فترة من الوقت تحتوي بداخلها على كل التغيرات الهرمونية التي تحدث في حياة المرأة الانتاسلية أثناء إنتقاع الحيض أو الحمل (من الواس).

- **Citrus** : الليمون : جسم صغير من الخلايا الكروية في الجهاز التناسلي للأنثى يقبل التخصيب.
- **Clomiphene Citrate (Clomid)** : حذر بسبب حدوث التويض عند النساء عن طريق عمله كمضاد للإستروجين فهو يثبط تنظيم الرحم السالب لهرمون الإستروجين على إفراز LH-RF .
- **Clove** : جزيئات مثاقلة وراثيا.
- **Co- agulation** : مساعد التجلط (في حالة الجلطة الدموية).
- **Co-activation** : مساعد التنشيط.
- **Code word** : ثلاثة نيوكليوتيدات متماثلة من الـ DNA تكل على حمض أميني معين في البروتين المصنع.
- **Codon** الكودون : هو الوحدة أو الكلمة التي تميز عن حمض أميني واحد أو بتعبير آخر معكد الحمض الأميني مع جزء RNA يقال **One amino-acyl-tRNA complex** . ولكل كودون ثلاثة نيوكليوتيدات وبالتالي للإشارة للوراثية ثلاثة نيوكليوتيدات.
- **Coenzyme A** : هو مساعد إزيم يقوم بنقل مجموعة الأسفيل من تفاعل إلى تفاعل آخر.
- **Coenzyme** معاون (مساعد) الإيزيم : عامل عضوي يستخدم كعامل لنقل الذرات أو الجزيئات الصغيرة من تفاعل إلى آخر ولا يستهلك في التفاعل ويمكن إعادة إستخدامه مرة أخرى.
- **Cofactor** مساعد العامل : مادة عضوية أو غير عضوية تثبط بملقطة معينة من الإيزيم وهي أساسية لتنشيط الإيزيم.
- **Coitus Interruptus** : جماع أو تكاح بين رجل وإمرأة يوقف عمدا (بمقار بالمعد) ويتم ابيه سحب التخصيب من **Penis** من مهبل المرأة قبل عملية التلقح.
- **Collagen** : أظف البروتين الشائع في الجسم وموجود في النسيج الضام ويخلق بواسطة خلايا الـ **Osteoblasts** في النسيج العظمي. أو هي ألياف بروتينية قوية وتعمل كمادة خلوية خارج الخلايا في النسيج الضام.
- **Collecting Duct System** : جزء من كليات الكلى موجود بين الكليات المتفرقة البعيدة وحوض الكلية ويشمل كلية للتوصيل والقناة التشريعية المجمعة والقناة للتفاحية للمجمعة.
- **Colloid** : عبارة عن مخلوط من المذيب والمذاب ويكون ايه حجم حبيبات المذاب متوسط في الحجم بالنسبة لحجم حبيبات المذيب وبالتالي يظهر معلق (يظهر شكل الـ **Colloid** معلق مثل اللبن أو شكل السحاب).
- **Colloid** الغروي : عبارة عن جزء كبير يتكون أساسا من البروتين ولا يستطيع التفلذ من جدر التسميرات الدموية.
- **Colon** : الجزء من الأمعاء الغليظة الذي يمتد من الأعور حتى الشرج.
- **Colony - stimulating factor (CSF)** : مصطلح يطلق على عدة أنواع من الـ **Cytokines** والتي تنشط إنتاج خلايا الدم البيضاء المتعادلة وحيدة الخوا.
- **Color blindness** مرض عصى الألوان : وهو مرض وراثي يكون ايه الشخص غير قادر على التمييز غالبا بين اللون الأحمر واللون الأخضر كتجربة لغياب ولد أو اثنين من الـ **Cone photopigments**.
- **Colostrum** : اللبوسوب أو اللبن : وهو اللبن المفرز من الثدي أو المزرع في الحيوانات خلال الثلاثة أيام الأولى من الرضاعة (بعد الولادة مباشرة) ويتميز بحتوائه على كميات عالية من الأجسام المناعية.

- **Commissure** : حزمة من الألياف العصبية التي تصل ما بين نصفي المخ الأيمن والأيسر.
- **Common bile duct** : قناة تحمل العصارة الصفراوية من الكبد والعصارة الصفراوية إلى الأمعاء الدقيقة.
- **Community** : كل النباتات والحيوانات والكائنات الدقيقة الموجودة في النظام البيئي.
- **Compact bone** : العظم الكثيف : وهو النسيج الموجود في الجزء الخارجي في كل العظم.
- **Competition** : تنافس الجزيئات المتشابهة للإحماذ بالنسبة لمواقع الارتباط أو المستقبلات.
- **Competitive Protein-Binding Assay (CPBA)** : طريقة من طرق قياس الهرمونات تعتمد على تخصصية ارتباط الهرمون بالجسم المضاد Antibody به المستخلص من بلازما الدم.
- **Complement** : مجموعة من بروتينات الدم والتي تشارك في الدورة الدموية في صورة غير نشطة وعند حدوث غزو بكتيري تنشط هذه المجموعة وتقوم بقتل وتدمير البكتيريا.
- **Concentration gradient** : تدرج في التركيز يحدث بين مركبين إما تركيزين مختلفين.
- **Concentration** للتركيز : كمية المادة المذابة لكل وحدة حجم من المذيب.
- **Conduction** التوصيل : انتقال الحرارة من طريق نقل الطاقة الحرارية أثناء ثلاث الجزيئات.
- **Conformation** : الشكل الثلاثي للأبعاد للجزيء.
- **Conjugation** هو تحول لهرمونات عن طريق الميتابولزم وهذه الهرمونات تتحول بأحد الإنزيمات إلى جزيئات أخرى مثل تحول T_3 و T_4 إلى **Gluconides or sulfates** .
- **Connective tissue cell** خلية نسيج ضام : تخصصت في إفراز مادة خارج خلوية تربط الخلايا ببعضها وتكدهم لسجة وأعضاء الجسم.
- **Connective tissue proper** : إسم يطلق على النسيج الضام السائب والكثيف والذي يدعم ويحمي تركيب الجسم المختلفة.
- **Connective tissue** النسيج الضام : ولدت من الأنسجة الأولية يحتوي على خلايا وكمية متغيرة من المادة الخارج خلوية وهو يربط الخلايا ببعضها مكونا النسيج والأعضاء.
- **Contact inhibition** التثبيط التلامسي : وقف النمو أو وقف انقسام الخلايا الناتج عن تلامس خليتين أو أكثر وهذه الظاهرة موجودة في الخلايا العادية لكنها تنحب في الخلايا السرطانية.
- **Contraceptive** موانع الحمل : أي شيء يساعد على وقف الإخصاب.
- **Contractility** : قوة انقباض القلب والتي لا تعتمد على طول الخلية.
- **Contraction time** : الوقت بين لحد الجهد (أو جهد الفعل) في العضلة وتطور إلى أن يصل إلى أقصى توتر يرتاح في العضلة.
- **Contraction** الانقباض : وهو العملية الخاصة بسلية توليد قوة في العضلة.
- **Convection** الحمل الحراري : في هذه الطريقة يتم تسخين الهواء أو الماء الموجود أمام جسم حراري عن طريق التوصيل ثم يتحرك ليحمل معه هواء أو ماء بارد جديد وتتكرر هذه الدورة.

- **Core temperature** : درجة حرارة الجسم الداخلية.
- **Cornae** : تركيب شفاف يغطي السطح الأمامي للعين ويشكل جزء من جهاز الإبصار في العين.
- **Cornification** التقرن : هي العملية التي يحدث فيها موت وتصلب الخلايا الجلدية الموجودة على الأسطح الخارجية للجسم.
- **Coronary** : يختص بالأوعية الدموية القلبية.
- **Coronary blood flow** : الدم المتدفق إلى عضلة القلب.
- **Corpus Callosum** : حزمة واسعة من الألياف العصبية والتي تصل نصفي كرة المخ. أي هي نقطة التقاء المخ.
- **Corpus luteum (CL)** الجسم الأصفر : تركيب يتكون كنتيجة لإلتجار الحويصلة المبيضية (حدث التبويض) وهو خدة صفراء تقوم بإفراز هرمونات منها هرموني الإستروجين والبروجسترون.
- **Cortical granules** : حويصلات إفرازية توجد تحت غشاء خلية الـ Oocyte وتفرز علاماتا يلتصق الحيوان المنوي بالـ Oocyte حيث تمنع أي حيوان منوي آخر من إخصاب البويضة بعدما إخصبت بالحيوان المنوي الأول.
- **Corticobulbar pathway** مسلك نازل : جسم الخلية العصبية الخاصة بالمسلك موجودة بقشرة المخ أما المحور Axon يمر بدمن ناط تشابه إلى منطقة الخلايا العصبية الحركية بساق المخ.
- **Corticospinal pathway** مسلك نازل : جسم الخلية العصبية الخاصة بالمسلك موجود بقشرة المخ. أما المحور Axon يمر بدمن ناط تشابه إلى مكان الخلايا العصبية الحركية بالنخاع الشوكي. هذا ويطلق على هذا المسلك أيضا Pyramidal tract.
- **Corticosteroids** : الهرمونات المفروزة من قشرة الغدة الجاركلوية أو المشابهة لها والتي تفرز من الغدة المبيضة والشمية.
- **Corticotropin releasing hormone (CRH)** : هرمون يفرز من الهيبوثالامات وينشط إفراز هرمون ACTH من النصف الأمامي للغدة النخالية.
- **Cortisol** هرمون الكورتيزول : هرمون إسترويدي من مجموعة الهرمونات المسفقتة بميتابولزم الكربوهيدرات Glucocorticoid hormones وأهم وظائف هرمون الكورتيزول الفايولوجية هو تنشيطه لعملية تكوين سكر من مواد غير كربوهيدراتية Gluconeogenesis ومساعدة الفرد على مقاومة الأنواع المختلفة من المنغوط وهم البكتيريا في العضلات والعظام. ويفرز هذا الهرمون من قشرة الغدة الجاركلوية.
- **Cotransmitter** : رسول كيميائي يفرز مع الناقل العصبي Neurotransmitter من ناط التشابك العصبي Synapses.
- **Coupled reaction** : زوج من التفاعلات تتفاعل لتنتج طاقة ويسمى Exergonic reaction والتفاعل الآخر يخزن هذه الطاقة المنتجة ويسمى Endergonic reaction (مثل تخزين الطاقة في حاملات الطاقة ATP).
- **Coupling** : التزاوج أو إتحد DIT مع DIT لتكوين Thyroxine (T₄) أو إتحد DIT مع MIT لتكوين Triiodothyronine (T₃).

- **Covalent bond** : رابطة تساهمية : رابطة كيميائية بين ذرتين والتي تساهم فيها كل ذرة بالإلكترون لأخرى.
- **Cowper's gland** غدة كوبر : أسنن الغدد المساعدة الجنسية وتفتح في قناة مجرى البول Urethra.
- **Cranial nerves** : الأعصاب المخية : وهي عبارة عن ١٢ زوج (٢٤ فرد) من الأعصاب تخرج من المخ الأمسي وساق المخ.
- **Creatine phosphate** : جزيء على الطاقة يوجد في العضلات وهو ياتل الفوسفات والطاقة إلى ADP ليكون ATP.
- **Creatinine** الكرياتينين : مخلف (أو نفاية) ناتج مشتق من كرياتين Creatin العضلة.
- **Cretinism** : نقص إرازات (هرمونات) الغدة الدرقية نتيجة إختلالها أثناء مراحل التطور الأولى وأعراضها البلاءه وقصر القامة .
- **Cristae** : أيا تتكون من النشاء الداخلي للميتوكوندريا.
- **Cross bridge Cycle** دورة للجسر العرضي : وهو تتابع الأحداث بين ارتباط الجسر العرضي بالكتين وتحرره وإعادة ارتباطه مرة أخرى.
- **Cross bridges** للجسور العرضية : الجزء من جزيء الميوسين في الخلية العضلية والذي يرتبط بجزيء الأكتين ويشده للداخل مسببا قصر الماركومير .
- **Crossing over** العبور الكروموسومي : وفيه يحدث تبادل بين أجزاء الكروماتيدات وهو ما ينعى تنوع السلالت الوراثية بالنسبة للكائن الحي.
- **Culture** : الأتكاك والسناعات والمهارات والفنون لمجموعة من الأفراد في وقت معين والتي يمكن تغييرها مع مرور الوقت.
- **Current** : إنتقال شحنة كهربائية في النظم البيولوجية ويحقق ذلك عن طريق الإنتقال الأيوني.
- **Cushing's Syndrome** : مرض يتميز بإفرازات غلبية من أنشرة الغدة الجاركلوية (إفرازات غلبية من هرمونات Corticosteroids) وأعراضه ضمور العضلات وخلل في النظام وينتير شكل الجسم ليمأخذ شكل قمر Moon face and buffalo hump .
- **Cutaneous** : جلدي (يخص الجلد أو شيء متعلق بالجلد).
- **Cyclic AMP (Cyclic Adenosine Monophosphate, cAMP)** : هو الجزيء الموجود في سيتوبلازم الخلية ويعمل كرسول ثاني Second messenger للهرمونات البيبتيدية والبروتينية (أو بعضي أندر يقوم بالوظائف البيولوجية للهرمون). ويطلق عليها أيضا Cyclic 3',5' adenosine monophosphate.
- **Cyclic AMP dependent protein kinase** : إنزيم ينشط بواسطة cAMP وبعد أن ينشط يقوم بفسفرة بروتينات خاصة وغالبا ما يغير من نشاط هذه البروتينات. ويطلق عليه أيضا Protein kinase A.
- **Cyclic GMP (Cyclic Guanosine Monophosphate, cGMP)** : عبارة عن Cyclic nucleotide من الهرمونات (يعمل كرسول ثاني Second messenger) لعمل بعض الهرمونات البروتينية. (يتوسط أكثر هرمون Epinephrine على سبيل المثال).

- **Cystic fibrosis** : مرض وراثي يسببه جين متلقى موجود على الكروموسومات الجدية (الغبر جنسية) ويسبب مشاكل في الغدد العرقية والغدد المخاطية والبنكرياس. ويمكن أن يخلق البنكرياس ويقتل ويصل الإزيمات الهضمية إلى الأمعاء الدقيقة ويحدث في هذا المرض أيضا تجمع السوائل في الرئتين مما يجعل التنفس صعبا.
- **Cytokine** : مصطلح عام يطلق على رسول بروقيني داخل الخلية والذي يؤثر على خلايا الجهاز المناعي ويلرز بواسطة الخلايا المتتمة الكبيرة Macrophages والخلايا وحيدة القواء Monokin (Monocytes) والخلايا الليمفوية Lymphokine وخلايا أخرى.
- **Cytoplasm** : الجزء من الخلية خارج النواة والسائل الغشاء الخلوي.
- **Cytoplasmic Receptor (or Mobile Receptor)** : مستقبل يوجد بالستوبلازم الخلية الهدف Target cell ويرتبط بالهرمونات الإستروجينية Steroid hormones.
- **Cytoskeleton** الهيكل الخلوي : شبكة من الألياف البروتينية في الجزء السيتوبلازمي من الخلية وهي متصلة بكل العضيات الخلوية وجزيئات الإزيمات ويقتل في محيط على شكل الخلية ووظيفتها كما يزيد كفاءتها الوظيفية.
- **Cytosol** : كل السوائل داخل الخلية المحيطة بالعضيات الخلوية والنواة.
- **Cytotoxic T cell** : وهي خلايا T الليمفوية ويطلق عليها أيضا T- Cytotoxic cell type of T lymphocyte & lymphocyte. وهذه الخلايا تهاجم وتقتل الفيروسات التي تغزو الخلايا كما تهاجم وتقتل الطفيليات والطفريات وخلايا الأورام.
- **Daughter cells** : خليتان لتجتان من إقسام خلية واحدة.
- **Dead space** : حجم من هواء الشهييق لا يحدث فيه تبادل الغازي مع الدم.
- **Deamination** : نزاع مجموعة الأمين NH_2 من الجزيء.
- **Dehydroepiandrosterone (DHEA)** : أحد الهرمونات الذكورية Androgen المنتجة بصفة غير أساسية (بكميات قليلة) من كثرة الغدة الجار كظرية.
- **Deletion** : فقد (ضياع) قطعة من الكروموسوم.
- **Delta Cells (Alpha Cells)** : خلايا جزر لانجرهانز في البنكرياس والتي تقوم بإفراز Pancreatic somatostatin, gastrin and serotonin.
- **Dendrite** : ألياف تسيرة ومتفرعة بدرجة كبيرة والتي تحصل القصبية إلى جسم الخلية العصبية.
- **Denervation atrophy** : نقص في حجم الألياف العصبية التي ينسحل (ثم تنمير) المصب المغذى لها.
- **Dense connective tissue** : نسيج الضام الكثيف : نوع من النسيج الضام الذي يتكون أساسا من ألياف كثيفة مضغوطة مع بعضها ويوجد في الأوتار والأربطة.
- **Deoxyhemoglobin (Hb)** : هو الهيموجلوبين الغير متمد مع الأكسجين (الهيموجلوبين المختزل).
- **Deoxyribonucleic acid (DNA)** : الحمض النووي DNA والذي يحمل المعلومات الوراثية ويتكون من غوطين دقايرين من ثيوبوكيوريدات على شكل حلزون.

- **Depolarize** : لتحريك قيمة جهد فعل غشاء الخلية لنمية السار حيث يصبح داخل الخلية أقل سلبية منه وقت الراحة.
- **Depression** : لأحزن وهو إنضطراب في الحالة النفسية المزاج (أو نوبة غضب) يتصف بالإسلاس بالحزن وشياع القنادة وشياع السمادة.
- **Descending pathway** : مسلك عصبي يأخب من الدماغ (المخ) إلى الحبل الشوكي.
- **Diabetes Insipidus** : مرض يحدث نتيجة نقص إفراز Antidiuretic hormone (ADH) or vasopressin وأعراضه شرب كميات كبيرة من الماء وإخراج كميات كبيرة من البول المخفف. وهو مرض البول القلبي أو البول الذي ليس له طعم.
- **Diabetes mellitus** : مرض السكر (البول السكري) ؛ ويظهر إما نقص إفراز هرمون الإنسولين من البنكرياس أو نقص (أو تكثير أو شياع) مستقبلات هرمون الإنسولين في الخلايا الهدف. ولعم خصائص هذا المرض هو حدوث خلل في تشغيل الكربوهيدرات والدهون والبروتين ومصطلح Mellitus (L-honeyed) يطلق على وجود السكر في بول مريض السكر.
- **Diacylglycerol (DAG)** : رسول ثنائي ينشط Protein kinase C والذي بعد ذلك يقوم بعمل إشارة لتحديد كبير من البروتينات.
- **Diastolic pressure** : أقل ضغط دم أثناء الدورة القلبية.
- **Diencephalon** : الدماغ المتوسط أو الجزء الخلفي من مقدم المخ ؛ وهو عبارة عن مركز (أو لب) الجزء الأمامي من المخ ويرقد تحت نصلي كرة المخ ويحتوي على مناطق للمهاد وتحت المهاد.
- **Differentiation** : تميل الخلايا ؛ وهي العملية التي من خلالها تكتسب الخلية تركيب ووظائف خاصة بها وتميزها عن خلية أخرى.
- **Diffusion equilibrium** : الحالة التي يكون فيها تعلق الانتشار في الاتجاهين المتعاكسين متساوي. ولذلك ففي هذه الحالة تكون الكمية الصافية المنقلة تساوي صفر.
- **Diffusion** : الانتشار ؛ وهو عبارة عن حركة عشوائية للجزيئات من مواقع إلى مواقع أخرى. ويحدث الانتشار عادة من التركيز العالي إلى التركيز المنخفض.
- **Digestion** : هو العملية التي يتم فيها تكسير الجزيئات الكبيرة والمواد ذات الوزن الجزيئي العالي إلى جزيئات صغيرة.
- **Dihydrotestosterone (DHT)** : هرمون إسترويدي ينتج من هرمون التستوسترون عن طريق فعل نشاط إنزيم α -reductase ويعتبر الصورة المخترلة والنشطة من الهرمون الذكري Testosterone حيث يتوسط آثاره البيولوجية في بعض الخلايا الهدف.
- **Direct Acting Hormones** : هرموني البرولاكتين وهرمون نمو GH المفرزان من الغدة الأمامية للغدة ويصلان مباشرة على الأنسجة الهدف الخاصة بهم .
- **Disinhibition** : إزالة التثبيط من الخلية العصبية وطياً مملاًها السماح بزيادة نشاط الخلية العصبية.

- **Dissociation** : محالما ونفسل من.
- **Distal convoluted tubule** : جزء من كليات الكلية موجود بين عروة هنلى والقناة المجمعة.
- **Diuresis** : حالة زيادة إفراز البول.
- **Diuretic** : مادة مدرة للبول وزيادة إفراز البول هنا ناتجة عن نقص إعادة إمتصاص المعاليل عن طريق الكلية.
- **Diurnal** : يوميا (أو يحدث كل دورة قدرها ٢٤ ساعة).
- **DL** : ديسيلتر : يعنى ١٠٠ سم^٣ (أو ١٠٠ مل)
- **DNA polymerase** : إنزيم خاص بتضاعف الـ DNA
- **Dominant** : المسيطرة : مصطلح يطلق فى الوراثة فى حالة الفرد الخليط فى زوج الجينات لصفة معينة حيث يكون هناك أليل سائد على أليله الآخر.
- **Dopamin** : دوبا : عبارة عن ناقل عصبى وهرمون ومركب وسطى فى تخليق هرمونى الإبيندرون والدوريبندرون وهو من ضمن مجموعة الكاتيكولامينات Catecholamines.
- **Dorsal root** : مجموعة من الألياف العصبية الدخلة (الناقلة نحو مركز عصبى) إلى الجزء الظهري من النخاع الشوكى.
- **Dose-Response Curve** : رسم بياني يوضح العلاقة ما بين كمية الهرمون (تركيز الهرمون) المعامل به الحيوان وتأثير الصفة المراد أوقاسها بهذا الهرمون.
- **Double bond** : زوج من الروابط الكيميائية المساهمة تنشأ بين ذرتين من نفس النوع ويشار إليهم بالرمز (-).
- **Double helix** : تركيب بنائى جزيئى ثلاثى الأبعاد يكون أليه خيطون من الجزيئات ملتصين حول بعضها البعض ومثال ذلك التركيب البنائى للحمض النووى DNA.
- **Down-regulation** : وهى حالة نقص عدد المستقبلات الموجودة على الخلية الهدف لإرسول كيميائى معين كاستجابة لزيادة تركيز هذا الرسول الكيميائى.
- **Dual innervation** : إتمثال لفرد أو العضو بأكمل من الألياف العصبية السمبثالية والباراسمبثالية.
- **Duodenum** : الاثنى عشر : أول جزء فى الأمعاء الدقيقة بين المعدة والصائم.
- **Dust Cell** : خلية موجودة فى وحول الحويصلات الهوائية فى الرئة وتقوم بإتلاف المواد الدقيقة التى تدخل الرئة.
- **E. Coli** : بكتريا معروفة توجد فى الأمعاء الخيطية فى الإنسان والحيوان وتقوم بهضم السكر والمواد التى لم تهضم فى المعدة والأمعاء. كما أنها تستخدم فى كثير من البحوث الوراثية والهندسة الوراثية.
- **Ecological niche** : المأوى وكل الملائك التى توجد بين الفرد والبيئة التى يعيش فيها.
- **Ecological system (Ecosystem)** : النظام البيئى : عبارة عن نظام يتكون بين الأفراد والبيئة التى يعيشون فيها شاملا كل التفاعلات التى تحدث بين هذه المكونات.
- **Ecology** : هو علم دراسة النظام البيئى Ecosystem أى هو العلم الذى يختص بدراسة الأفراد والملائك المتداخلة التى تربطهم ببعض وفى حالة الإنسان يدخل هنا الطبيعة الاقتصادية لملائهم مع بعض أيضا.

- **Ectoderm** الأكتودرم : واحد من ثلاثة أنواع من الخلايا التي توجد في جنين الإنسان والحيوان والتي تنمى مع تطور الجلد والتركيب المشابه والتي منها العينان.
- **Ectopic pregnancy** : إغراس وتطور الجنين خارج الرحم.
- **Edema** : إنتفاخ على السائل ينتج من تراكم السوائل بالنسيج.
- **Effector** : عبارة عن خلية أو مجموعة من الخلايا تغير وظيفتها كنتاجة لتنبيه الحسبي أو الهرموني وبالتالي فالمخاضات والقد هي أغلب الـ Effectors الموجودة بالجسم .
- **Effector protein** : بروتين خشاء الخلية الذي يعمل ككفاءة أيونية أو إنزيم في الـ Signal transduction sequence أو هو عبارة عن بروتين داخلي يتغير كاستجابة لتنشيط المستقبل.
- **Efferent (carry away from)** : محطاً يعمل مطومة من الـ Integrator إلى الـ Effector. أو أن معناها ليناً أنه يحمل بعيداً عن.
- **Efferent arteriole** : وعاء دموي كلوي يحمل الدم من الكبيبة الكلوية إلى الـ Peritubular capillaries.
- **Efferent neuron** : خلية عصبية تنقل المعلومات إلى خارج الجهاز العصبي المركزي.
- **Efferent pathway** : مكونات قوس إكسكس يقوم بنقل المعلومات من مركز التكامل إلى الـ Effector (المضو أو المدع).
- **Egg** البويضة : خلية جرثومية كثرة في أي مرحلة من مراحل تطورها.
- **Ejaculation** القذف : وهو خروج السائل المنوي من القضيب أثناء عملية الجماع أو ما شابهها.
- **Ejaculatory duct** القناة القذفية : هي إمتداد الوعاء القنالي بعد إحصائه بقناة الحويصلات المنوية وإصصال قناة مجرى البول بخدة البروستاتا.
- **Electrolyte** : عبارة عن جزي يمكنه أن يتأين ويحمل تيار كهربى داخل الجسم، كما أن هذه الأيونات تسهم في إسمولية بلازما الدم.
- **Electron transport system** نظام نقل الإلكترون : عبارة عن سلسلة من الجزيئات البروتينية المتتالية الموجودة في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا والتي تنقل الإلكترونات من واحد إلى الثاني أثناء دورة كريبس ولتحيراً تمنعهم الأكسجين. وأثناء رحلة هذه الإلكترونات على طول سلسلة البروتينات تفقد هذه الإلكترونات الطاقة والتي تستخدم لإنتاج حامل الطاقة ATP.
- **Embryo** الجنين : فرد أثناء المراحل المبكرة لنموه وتطوره، وفي حالة الإنسان يسمى جنين بدءاً من صر شهرين داخل الرحم.
- **Emphysema** مرض إنتفاخ الرئة : وينتج عن تدمير جدر الحويصلات الهوائية وبالتالي تقل مساحة سطح التبادل الغازي بالرئة (تتسبب من أهم العوامل المسببة لهذا المرض) وهو مرض لا يمكن علاجه ويقتل مرضاه ببطى.

- **End-product inhibition** : وهو تثبيط نشاط الإنزيم عن طريق المنتج الناتج من التفاعل الذي ينشطه هذا الإنزيم أو الناتج النهائي لسلسلة من التفاعلات التي يحفز إحداها هذا الإنزيم ويحدث هذا التثبيط عن طريق ارتباط المنتج النهائي بالموقع النشط في الإنزيم أو بال **Allosteric** للإنزيم.
- **Endergonic reaction** : تفاعل كيميائي يحتاج إلى طاقة لتسرع التفاعل مثل تخزين الطاقة الناتجة من تكسير جزيء الجلوكوز إلى صورة **ATP**.
- **Endochondral Ossification** : عملية تكوين العظام من الغضاريف.
- **Endocrine gland** الغدة الصماء : عبارة عن غدة ذات إفراز داخلي وهي تفرز هرمونات في المسافات البينية (بين الخلايا) ثم تنتقل إلى مجرى الدم مباشرة لتؤثر على عضو أو لتصبح هدف بعيد عن مكان الإفراز وقد تقوم هذه الهرمونات بالعمل ذاتيا على نفس الخلية التي تفرزها أو على خلية مجاورة.
- **Endocrine system** جهاز الغدد الصماء : عبارة عن غدد من الغدد المفرزة للهرمونات موزعة في جسم الإنسان أو الحيوان.
- **Endocytosis** الإبتلاع الخلوي : هي العملية التي تقوم فيها الخلية بابتلاع جسيمات دقيقة صلبة أو بكتيريا أو فيروس أو خلايا أخرى وتحتاج هذه العملية إلى طاقة في صورة **ATP**. ومن أمثلتها إعادة نقل الفثوجلوبولين من تجاويف حويصلات الدرقية إلى داخل خلايا الحويصلات مرة أخرى.
- **Endoderm** الإندودرم : ولدت من الثلاثة أنواع من الخلايا التي تتكون أثناء المراحل الجنينية الأولى. وهذه الخلايا تنتج فيما بعد النقا الهضمية والغدد المشتركة معها.
- **Endogenous** : ينمو من أو منشأ **Organism**.
- **Endometrium** : بطانة الرحم.
- **Endoplasmic reticulum (ER)** الشبكة الإندوبلازمية : شبكة متفرعة من القنوات توجد متخللة لسيتوبلازم معظم الخلايا. وتتكون من أسطح غشائية مبطنة مشققة من غشاء النواة.
- **Endorphin** : هرمون بيتيدي يعمل ككامل عصبي في نقاط الاقتران أو التشابك العصبي **Synapses** التي تم تنشيطها ببعض المستحضرات الطبية المحتوية على الأفيون كما يعمل كهرمون ويعمل أيضا على الخلايا المجاورة للخلايا التي تفرزته. وهو أيضا إسم شامل (علم) لكل الببتيدات التي لها علاقة بال **Beta lipoprotein**.
- **Endothelium** : طبقة من صف واحد من الخلايا تبطن جدر الأوعية الدموية.
- **Energy carrier** حامل الطاقة : هو جزيء يحافظ على الطاقة بدرجة عالية ويمكنه إفراز هذه الطاقة عند الاحتياج إليها. وأهم جزيئ شائع حامل الطاقة هو **ATP** في معظم الخلايا تقريبا. وهناك بعض حاملات الطاقة الأخرى مثل **NAD** و **FAD**.
- **Enkephalin** : عبارة عن هرمونات بيتيدية من عائلة ال **Endorphin** وهي تلعب دورا في منع آلام الجسم عن طريق الجهاز العصبي وهي تنبذ كلا من حركة الأمعاء - الإفراز الحمضي - إفرازات البنكرياس.
- **Enteroglucagon** : هرمون لقناة الهضمية الذي ينبه نمو ميكوكزا الأمعاء **Intestinal mucosa**.
- **Envelop** : غشاء واقى لبعض الفيروسات يقع خارج غطاء الفيروس **Capsid**.

• **Environmental Amenorrhea** : نوع نادر من أنواع إحصاض الطمث والذي يكون سببه الإصابة لنسج تحدث في مكان المبيضة .

• **Enzyme** : بروتين وظيفي ينتجه الجسم (يُنتجها الغدة من طريق الغشوة البروتينية) هذا البروتين (الإنزيم) يسرع من التفاعلات الكيميائية. وأغلب الهرمونات تظهر آثارها البيولوجية عن طريق تنشيط النظم الإنزيمية.

• **Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA)** : طريقة من طرق قياس الهرمونات تعتمد على تفاعل الإنزيم المرتبط بالأنتيجن (Antigen) (Hormone) مع المادة التي يعمل عليها.

• **Eosinophil Cells** : عبارة عن خلايا غدد جارث الدرقية والتي لا تنتج هرمون Parathyroid hormone (PTH) ووظيفتها غير معروفة حتى الآن.

• **Epidermis** البشرة : معظم الطبقة الخارجية من الجلد وتقوم هذه الطبقة بعملية طبقات الجلد التي تحميها من الجفاف ومن الإصابة الفيروسية أو البكتيرية.

• **Epididymal duct** قناة البريخ : قناة دليل البريخ يتم فيها تخزين الحيوانات المنوية لمن عملية التلقيح.

• **Epididymis** البريخ : مكان تخزين الحيوانات المنوية ويقع بين التفتحات المنوية والوعاء النقال.

• **Epinephrine (Adrenalin)** : هو Neurohormone يفرز من خلايا نخاع الغدة الجار كلوية Adrenal medulla ويطلق عليه مجازاً اسم هرمون وهو من مجموعة الرسائل الكيميائية Chemical messengers المنفصلة بمقاومة الفرد للضغوط.

• **Epiphyseal plate** : طبقة من الخلايا الغضروفية موجودة في العظام والتي عن طريق انقسامها تميز العظام في الطول والعرض وتلكس هذه الطبقة بعد تمام النمو.

• **Episodic Secretion** : وهو إفراز خلايا الغدة النخامية لبعض الهرمونات دفعة واحدة بانتظام متكرر ويكون هذا التكرار لإفراز الهرمون في إتساع قليل من الوقت (دقائق إلى ثلاثة كل ساعة).

• **Epithelium** التسيج الظلائي : تسيج لوي يبطن تجاويف ويغطي أسطح.

• **Equilibrium Constant** : عندما تتساوى تراكيزات نوعي تفاعل كيميائي مع التفاعل العكسي.

• **Equilibrium** الإتزان : لا يوجد شيء ساعى يتغير في النظام ولا يحتاج لذلك لطاقة.

• **Erection** الإنتصاب : هو عبارة عن إنتصاب (إتصاب) للعضيب في الرجال ولفظ في النساء كتضخمة لإحتضان أو إنتلاء الأوعية الدموية.

• **Erythrocytes** : كريات الدم الحمراء.

• **Erythropoiesis** : إنتاج كريات الدم الحمراء.

• **Erythropoietin** : هرمون يفرز أساساً من خلايا الكلية وينبه إنتاج كريات الدم البيضاء.

• **Esophagus** المريء : الجزء من القناة الهضمية الذي يصل البلعوم بالمعدة.

• **Essential amino acids** الأحماض الأمينية الضرورية (الأساسية) : هي الأحماض الأمينية التي لا تخلق في الجسم أو التي تخلق بكميات غير كافية لمقابلة الإحتياجات الأينية للجسم ولذلك فهذه الأحماض الأمينية يتم توليد الإحتياجات منها عن طريق الغذاء.

• **Essential element** : مادة كيميائية يجب توليدها في الجسم لحدوث النمو الطبيعي ومقابلة إحتياجات الجسم الوظيفية.

• **Estradiol (E_2)** : هرمون إسترويدي من عائلة إستروجين وهو هرمون الجنس الأنثوي الأساسي (الصورة النشطة من هرمون الإستروجين).

• **Estrane** : عائلة الهرمونات الأسترويدية التي تتميز بإحتوائها على 18 ذرة كربون في تركيبها.

• **Estriol** : هرمون إسترويدي من عائلة هرمون الإستروجين وهو الذي يبرز بصفة أساسية من المشيمة أثناء فترة الحمل.

• **Estrogens** : هرمونات إسترويدية تنتج بواسطة الغدد الجنسية وتُسرّو الغدة الجار كظرية والـ **Synthetic estrogens** عبارة عن مركبات إستروجينية صناعية تؤخذ عن طريق الدم لتنظيم النسل (الحمل).

• **Estromedin** : عمل يتهدى بسبب التمثيل بواسطة آثار هرمون الإستروجين على الأنسجة الهدف الخاصة به لتنشيط نموها .

• **Estrophilin** : مستقبل خاص بهرمون الإستروجين موجود في الإثنت في أنسجة الجهاز التناسلي والخصائص الأنثوية الخاصة.

• **Estrous Cycle** : دورة تناسلية توجد في إناث الثدييات تتميز بتغيرات دورية في شكل ووظيفة المبيض والتغذية التناسلية .

• **Enchromatin** : الكروماتين للنسج ميتوكوندريا (لبنية).

• **Evolution** التطور : هي العملية التي يتم عن طريقها حدوث تغيرات في التركيب والوظيفة للنوع بحيث يصبح أكثر كفاءة للمعيشة في بيئته. وأيضا هي عملية إنتاج أنواع جديدة ناتجة عن الانتخاب الطبيعي للجيئات الملائمة للبيئة.

• **Excitability** : القابلية لإنتاج إشارات كهربائية.

• **Exergonic reaction** : تفاعل كيميائي منتج للطاقة.

• **Exocrine Gland** : الغدة للنفوس : وهي عبارة عن مجموعة متجاورة من الخلايا الإفرازية أو خلية إفرازية تقوم بتوصيل إفرازاتها إلى أسكن أو أعضاء أخرى عن طريق قنوات أو بطنى أخر أنها عدد لها قنوات مثل الغدة اللعابية.

• **Exocytosis** : الإفراز الخلوى : هي العملية التي تفرز فيها الخلية مواد مخزنة في حويصلات إفرازية وهي عكس عملية الـ **Endocytosis**. وهي عبارة عن عملية تمتد على الطاقة في تغريب محتويات خلايا الجسم (ومنهما الخلايا المنفزة للهرمونات) في تجايف أو سواك ومن أسكنها تغريب الشيروجلوبولين من خلايا حويصلات الغدة Thyroid follicular cells إلى تجويف حويصلات الغدة Thyroid follicle lumen .

• **Exogenous** : أصله من خارج الجسم أو خارج الـ **Organism** ومثل ذلك الـ **Exogenous hormones** هي التي تملى للحيوان عن طريق الحقن أو عن طريق الدم.

• **Exon** : جزء يشتر من الجين DNA.

- **External genitalia** : الجزء الخارجى من الجهاز التناسلى لى الأُنثى (انقسام بالنسبة للإنسان) ويتكون من البظر والفتارين الصغيرين والفتارين الكبيرين.
- **External sphincter of the bladder** العضلة الماصرة الخارجة المثقبة البولية : صمام عضلى لاردى يتحكم فى إفراز البول عن طريق الإدراك بالعولس.
- **Facilitated diffusion** الانتشار الميسهل (التسهيل) : عملية تقوم فيها الحاملات البروتينية بنقل الجزيئات عبر أغشية الخلايا، وتتم الجزيئات كاستجابة لتدرج التركيز.
- **Feedback mechanism** آلية للتغذية الرجعى : ولى هذه الآلية يقوم المنتج من عملية معينة بتنظيم معدلات هذه العملية وهناك نوعين من آليات التنظيم وهما تثاقيم الرجعى السالب والتثاقيم الرجعى الموجب.
- **Fermentation** التخمر : عملية تحدث فى الخلايا معززة للنواة فى غياب الأكسجين حيث يتحول فيها حمض البيرويك إلى حمض اللاكتيك وتحدث هذه العملية أيضا فى الخلايا الأولية غير معززة للنواة.
- **Fertilization** الإخصاب : وهو عملية اتحاد الحيوان المنوى مع البويضة.
- **Fibrin** فيبرين : بروتين ليلى يتكون من الفيبرينوجين والذى هو عبارة عن بروتين ذائب فى البلازما حيث يساعد فى عملية جلطة الدم.
- **Fibrinogen** الفيبرينوجين : هو بروتين البلازما الذى يتكون منه الفيبرين.
- **Fibroblast** : خلايا نسيج ضام توجد فى النسيج الضام السائب والكثيف وهذه الخلايا تقوم بإنتاج مادة بروتينية تسمى كولاجين **Collagen** وألياف مطلطة ومادة جيلاتينية خارج خلوية وهؤلاء جميعا لازمين لإعانة إصلاح الأنسجة الضامة المقطوعة أو المتهطمة.
- **Flagellum** السوط : ويطلق عليه البعض الذيل وهو عبارة عن امتداد لغشاء الخلية البلازمية لخلايا الحيوانات المنوية وتستخدمه هذه الخلايا فى الحركة. كما أنه يوجد فى بعض أنواع الفيروسات.
- **Follicle stimulating Hormone (FSH)** الهرمون المنبه للحويصلات المبيضية : وهو هرمون يفرز من الغدة الأمامية للغدة النخامية وينشط نمو وتطور الحويصلات المبيضية فى الإناث وينشطها لإفراز هرمون الإستروجين، كما يله إنتاج (تكوين) الحيوانات المنوية فى الذكور.
- **Follicle** حويصلة (فى المبيض) : تركيب موجود فى المبيض وتحتوى كل حويصلة على Oocyte وطبقة أو اثنين من خلايا الحويصلات والمثاقمة من النسيج الضام السائب الموجود بالمبيض والغلاف للحويصلات.
- **Follicle** حويصلة (فى الذئقية) : تركيب موجود فى الغدة الذئقية يتكون من طبقة خارجية من الخلايا الحلقية المحيطة بداخله **Lumen** موجود به الفلويديولون.
- **Folliclestatin** ويطلق عليه أيضا **Inhibin** : وهو عبارة عن ببتيد تنتجه **Sertoli cells** فى الخصية كما تنتجه أيضا **Granulosa cell** فى المبيض ويعتقد أنه يابط إفراز هرمون **FSH** من الغدة الأمامية عن طريق التثاقيم الرجعى السالب (أو بمعنى آخر أن هذا الببتيد له **Negative feedback mechanism** على إفراز هرمون **FSH**)

- **Function (of a hormone) :** التحكم العام الذي يقوم به الهرمون لاستدامة الإيزان الطبيعي للصحة التي تؤثر عليها (Homeostasis).
- **G-Protein :** مستقبل سيتوبلازمي Cytoplasmic receptor لهرمونات Glucocorticoids .
- **Gallbladder الحويصلة الصفراوية :** حويصلة موجودة تحت جانب الكبد تخزن وتركز العصارة الصفراوية.
- **Gastric-Inhibiting Peptide (GIP) :** هرمون القئاة الهضمية Gastrointestinal hormone الذي يسبب تثبيط إفراز الحمض المعدى Gastric acid .
- **Gastrin الجاسترين :** هرمون معدى يفرز من الغدة المعدية وينشط إنتاج حمض الهيدروكلوريك Hcl المعدى.
- **Gastrointestinal Tract Hormones :** هرمونات بروتينية وبيبتيدية تنتجها خلايا القناة الهضمية .
- **Gene الجين :** قطعة من الحامض النووي DNA والذي ينظم التركيب والوظيفة بالجسم.
- **Generator Potential :** جارة من إشارات كهربائية تخرج من نهايات الأعصاب الطرفية أو في خلايا خاصة وهذه الإشارات تشترك في ويستجابتها لتنبه المستقبل Receptor.
- **Genome الجينوم :** الجينات الموجودة في الفرد.
- **Genotype :** التركيب الوراثي (الجيني) للفرد.
- **Germinal epithelium :** الخلايا الجرثومية الموجودة في جذار الكبيبات المنوية والتي يتكون منها الحيوانات المنوية.
- **Gestation :** مدة الحمل.
- **Glucagon هرمون الجلوكاجون :** هرمون يفرز من خلايا الفا α -cells من جزر لانجرهانز بالبنكرياس وينشط تحويل الجليكوجين في الكبد والعصائل إلى جلوكوز وبالتالي فهو يسبب زيادة مستوى جلوكوز الدم. كما يسبب إنتاج السكر أيضا من الأحماض الأمينية.
- **Glucocorticoid :** جارة من مجموعة هرمونات قشرة الغدة الجاردرية والتي تقوم بتنشيط عملية الـ Gluconeogenesis (تكوين سكر من مواد غير كربوهيدراتية - البروتين مثلا) وتساعد على مقاومة الفرد للأنواع المختلفة من الضغوط وهرمون الكورتيزول Cortisol هو طبيعيا الـ Glucocorticoid الرئيسي في الإنسان.
- **Glucogenesis :** عملية تكسير الجليكوجين وتم¹⁰ إلى جلوكوز.
- **Gluconeogenesis :** صلية تكوين (تخليق) الجلوكوز من الأحماض الدهنية والأحماض الأمينية المغلفة في الكبد، أي هي صلية تكوين سكر من مواد غير كربوهيدراتية.
- **Glycogenesis :** تقابل بتالي تحويل الجلوكوز إلى جليكوجين لتخزينه.
- **Glycogenolysis :** عملية هدم الجليكوجين لتكوين جلوكوز.
- **Glycolysis :** مسلك أيضي يحدث في ميتوبلازم الخلايا حيث يتم تكسير الجلوكوز إلى لصافين ويتكون جزيئين من حمض البيرويك وطاقة الناتجة من هذا التفاعل تستخدم في إنتاج جزيئين من الـ ATP.
- **Glycoprotein Hormone :** هرمون بروتيني طويل يتكون من عدد اثنين Subunits (Alpha and Beta) غير مرتبطين ببعض بـ Disulfide bridges والـ Alpha subunit متشابهة (متطابقة) في جميع الـ

Glycoprotein ومن أمثلتها **FSH & LH & TSH** كما أن **Beta subunits** لها هي مختلفة باختلاف الهرمون وهي المسببة لتفسيمة طوئلف البيولوجية لكل هرمون على حدى. والهرمون الجليكوبروتيلى عبارة عن بروتين مرتبط بالسكريدهدرات. ولذلك للسكريدهدرات ترتبط مع البروتين فى مواقع أوحدة مواقع مختلفة فى التركيب الجزيئى للهرمون.

• **Glycoproteins** : عبارة عن بروتينات مرتبطة بالسكريدهدرات.

• **Goiter** مرض الجويتر : وأعراضه تضخم الغدة الدرقية نتيجة لأسباب مختلفة منها نقص اليود. ويظهر هذا المرض على شكل إنتفاخ كبير فى مقدمة الرقبة.

• **Gonadostat Theory** : نظرية تكتشف حدوث الفاروخ الجنسي كعلاقة بانسج الجهاز العصبى المركزى **Central nervous system**.

• **Gonadotropin Releasing Hormone (GnRH)** : عبارة عن **Neurohormone** يفرز من الهيبوثالامث وينشط إفراز كلا من **FSH & LH** من القوس الأمامى للغدافية .

• **Gonadotropins** : هما هرمونى **Follicle stimulating hormone (FSH)** وهو الهرمون المنشط للحويصلات المبيضية ويفرز من القوس الأمامى للغدافية و **Luteinizing hormone (LH)** وهو الهرمون المحدث للتبويض ويفرز من القوس الأمامى للغدافية أيضاً ويطلق على الهرمونين **Gonadotropins** حيث أن وظيفتهما الأساسية هي تنشيط المبيض والغدافية على التوالي.

• **Granulosa cells** : خلايا فى **Granulosa** للحويصلات المبيضية هذه الخلايا تفرز هرمون الإستروجين بالتبليه من هرمون **FSH** فى بداية الدورة الشهرية، أما فى نهاية الدورة الشهرية فيقوم هرمون **LH** بتبليه هذه الخلايا **Granulosa cells** لإفراز هرمون البروجسترون (**Progesterone**).

• **Grave's Disease** : هو عبارة عن **Thyroid autoimmune disease** وأعراضه هي أمراض زيادة إفراز الغدة الدرقية **Hyperthyroidism**.

• **Gray matter** : مادة بنية تغطى معظم الكرة المخ.

• **Growth factor** : أى عامل حيوى أو غير حيوى ينشط النمو.

• **Growth Hormone (GH), Somatotropin (STH)** هرمون بروتيلى يفرز من القوس الأمامى للغدة الغدافية وينشط النمو بوجه عام فى الجسم ويعمل مباشرة على الأنسجة الهدف **Direct-acting hormone** ليسل على نمو العظام والعصلات والأنسجة الضامة بالإضافة إلى نمو الكبد والكلى والأمعاء... الخ كما أن له تثار بيولوجية على بناء البروتين وتكميل السكريدهدرات.

• **Growth Hormone Releasing Hormone (GH-RH)** : هو **Neurohormone** يفرز من الهيبوثالامث وينشط تكوين وإفراز هرمون النمو **GH**.

• **Gut Hormones** : هرمونات بيتيدية وپروتينية تنتجها خلايا لقناة الهضمية.

• **H-Y Antigen** : بروتين ينتج من المادة الوراثية الموجودة على الكروموسوم **Y chromosome** وينبه الخدد الجنسية فى الجنان لتكوين وتطور الخصيتين **Testes**.

- **Habituation** التحود : هي الحالة التي تتركب فيها المستجيبات الحسية إرسال الإشارات بالفرغم من استمرار وجود المؤثر.
- **Hashimoto's Disease** : هو عبارة عن **Thyroid autoimmuno disease** وأعراضه تتضمن الغدة الدرقية ولي البدنية يحتمل وجود أعراض زيادة نشاط الغدة الدرقية **Hypertthyroidism** ويمكن أن يتقدم للمرض ويسبب تدمير الغدة الدرقية وبالتالي تظهر أعراض نقص الفرقا للغدة الدرقية **Hypothyroidism**.
- **Heart attack** النوبة القلبية : إصابة أو موت العضلة القلبية ويطلق على هذه الحالة أيضا **Myocardial infarction**.
- **Heart failure** بخلل (صور-عجز) القلب : هي حالة تثل فيها إقباضات القلب مع إحتقان القلب والأوعية والشعيرات الدموية بالدم.
- **Heart murmur** : صوت قلب غير طبيعي ناتج من إضطراب تدفق الدم خلال صمامات ضيقة أو غير ممكنة أو نتيجة لقلب في جدار البطين أو الأذين.
- **Heart rate** معدل ضربات القلب : هو عدد نبضات القلب في الدقيقة الواحدة.
- **Heart sound** أصوات القلب : هي الأصوات الناتجة عن غلق صمامات القلب. والصوت الأول ناتج عن غلق الصمامات الأذينية البطينية (ب لب) وهو أطول من صوت القلب الثاني (دب Dup) الناتج عن غلق الصمامات البطينية. وبالتالي فـ صوت القلب الطبيعي هو لـووب...دب Lub-Dupp.
- **Helper cell** خلايا T المساعدة : هي خلايا T الليمفاوية التي عن طريق إفرازها لـ Cytokines تنشيط إقسام وتنضاج ونشاط خلايا B، خلايا T وذلك يحدث في حالة وجود **Antigen**.
- **Hematocrit** : هي النسبة المئوية لحجم خلايا الدم بالنسبة للحجم الكلي للدم ويطلق عليها أيضا **Compact cell volume (PCV)**.
- **Heme** الهيم : جزء عضوي محتوي على حديد ومرتبك بكلا من الأربعة سلاسل ببتيدية للهيموجلوبين أو الهيموكروم.
- **Hemoglobin saturation** تشبع الهيموجلوبين : هي نسبة جزيئات الهيموجلوبين المتحددة مع الأكسجين.
- **Hemoglobin** للهيموجلوبين : بروتين يتكون من أربعة سلاسل ببتيدية مرتبطة بالحديد يوجد داخل كريات الدم الحمراء وينقل معظم لأكسجين الدم.
- **Hemophilia** : مرض يحدث كنتيجة لخلل في جين موجود على الكروموسوم Y ينتج عنه غياب بعض عوامل تجلط الدم.
- **Hemorrhage** : نزف الدموي.
- **Heterozygous** الخليلط : هو إحتواء الفرد في تركيبة الوراثي في مواقع كروموسومي على زوج من الأليلات لـحدهما سائد والآخر متنحي.
- **High-density lipoproteins (HDLs)** : معقد من الليدات والبروتين يقوم بنقل الكوليسترول إلى الكبد ليهدم الكوليسترول.

• **Histamine** الهستامين : مادة كيميائية في عمل إتساع للأوعية الدموية Potent vasodilator تفرز من خلايا معينة بالجسم Mast cells أثناء فحاصلات شديدة الحساسية.

• **Histone** : بروتين كروى يعتقد أنه يلعب دوراً في تنظيم الجين.

• **Homeostasis** التوازن الداخلي : هي حالة من الثبات النسبي أو الإتزان النسبي لأى عضو أو جهاز اجتماعي. وتستخدم هذه الحالة من طريق البكت أوتوماتيكية (ذاتية) والتي تعمل على معالجة للتغيرات الداخلية مع التغيرات الخارجية. ومثال لذلك فإن Homeostasis لدرجة حرارة تحت اللسان في الإنسان الطبيعي تسمى إستقامتها بين ٣٦,٦°م إلى ٣٧,٢°م .

• **Homeostatic control system** : مكونات داخلية متصلة مع بعضها تعمل على الثبات النسبي للقياسات الطبيعية والكيميائية لبنية الجسم الداخلية.

• **Homeothermic** : المقدرة على المحافظة على درجة حرارة الجسم في حدود ضيقة جداً.

• **Homozygous** : حالة يحصل فيها الفرد في تركيبه الوراثي على جين من الأم متماثل مع الجين الحاصل عليه من الأب. (أى أن التركيب الوراثي للفرد في هذا الموقع الجيني يكون متماثل للأبوين).

• **Hormone** : رسول كيميائي يخلق بواسطة خلايا الغدد الصماء كاستجابة لتنبيه معين وإما أن يعمل عن طريق الدم لخللها أو أنسجته الهدف وإما أن يؤثر على خلايا مجاورة للخلايا التي تفرزته أو يمكن أن يؤثر على نفس الخلايا التي تفرزها.

• **Human Chorionic Gonadotropin (HCG)** : هرمون جليكوسيدوراثي Glycoprotein Hormone يفرز من خلايا الـ Trophoblast في الجنين ويبدأ إفرازه من الجنين عند عمر أسبوع (أى بعد أسبوع من الإخصاب). ويملك HCG الجسم الأصفر لإنتاج هرمون الإستروجين.

• **Humoral immunity** : تفاعل مناعي يحمي الجسم أولاً من الفيروسات والبكتيريا الموجودة في سوائل الجسم عن طريق إنتاج أجسام مضادة من خلايا البلازما.

• **Hydrocortisone** : هو هرمون الـ Glucocorticoid الطبيعي والرتبسي في الإنسان.

• **Hydroxy-Indol Methyl Transferase (HIOMT)** : إنزيم يوجد في الغدة الصنوبرية Pineal gland وينشط تخليق الميلاتونين Melatonin (يقوم الإنزيم بتحويل الـ Serotonin إلى Melatonin) وينشط هذا الإنزيم في الإظلام والإضاءة تثبط نشاط هذا الإنزيم.

• **Hydroxylation** : عملية إنزيمية مباشرة في تخليق الهرمونات الإسترويدية والتي تصنف ذرة لكسجين إلى الهيدروجين لتكوين مجموعة هيدروكسيل Hydroxyl group.

• **Hypercalcemia** : هي حالة زيادة تركيز الكالسيوم في الدم وهذه تثبط إفراز الـ Parathyroid hormone (PTH) وتنشط إفراز هرمون Calcitonin (CT) .

• **Hyperglycemia** : ارتفاع مستوى سكر الدم.

• **Hyperinsulinemia** : ارتفاع مستوى هرمون الإنسولين في بلازما الدم.

- **Hypertension** : وهي حالة ارتفاع ضغط الدم لأكثر من ٩٠/٦٠ والسبب الرئيسى لارتفاع ضغط الدم هذا غير معروف حتى الآن .
- **Hyperthyroidism** : وهي حالة إفراز زائد (زيادة الإفراز) من هرموني T_4 و T_3 المفرزان من الغدة الدرقية.
- **Hypertonic** : محلول أعلا في تركيزه عن تركيز سيتوبلازم الخلايا وبالتالي يسبب ذبول الخلايا (الخالية تنبّل).
- **Hypocalcemia** : حالة نقص مستوى الكالسيوم في الدم وهذه الحالة تنشط إفراز الـ **Parathyroid hormone (PTH)** .
- **Hypoglycemia** : هي حالة نقص مستوى سكر الدم.
- **Hypophysectomy** : عملية جراحية تجرى لنزع الغدة النخامية. ويجدر الإشارة هنا أنه بدون حقن الهرمونات في الأفراد منزوعة الغدة النخامية لا تستطيع هذه الأفراد المعيشة بعد العملية مدة طويلة.
- **Hypophysiotrophic Area (of the Hypothalamus)** : منطقة نسي الهيبوثالامات مختصة بوظائف نقص الأماسى للغدة النخامية حيث تفرز له الـ **Releasing and inhibiting factors** .
- **Hypophysiotrophic Hormones** : هذه المجموعة عبارة عن **Neurohormones** تفرز من الهيبوثالامات وتختص بتنشيط إفراز هرمونات النخامية (أي هي عبارة عن كل **Releasing and inhibiting factors** وهي **GH-RF & TSH-RF & FSH-RF & LH-RF & ACTH-RF & PRL-IF**) .
- **Hypothalamus** : (تحت المهاد البصري) : وهو جزء من المخ موجود تحت المهاد البصري ويكون أرضية وبعض جدران الـ **Third ventricle** في المخ والهيبوثالامات. وهي تتكون من مجموعة من الخلايا المسببة حدث بها تحورات سيتولوجية بحيث أصبحت لها القدرة على الإفراز وتسمى هذه الخلايا **Neurosecretory cells (NSC)** وتفرز **Neurohormones** وهي كل الـ **Releasing and inhibiting factors** .
- **I Gene** : هو الجين المتحكم في نموذج مجموعة الدم عن طريق تخليق جليكو بروتينات على أغشية خلايا كريات الدم الحمراء.
- **Immune system** الجهاز المناعي : جهاز منتشر في الجسم كله يتكون من عدة تريبوليونات من الخلايا والتي تدور في الدم والليمف كما تسكن في العقد والأعضاء الليمفاوية مثل الطحال والغدة الليموسية. وتساعد هذه الخلايا في حماية الجسم ضد الأجسام الغريبة مثل البكتيريا والفيروسات كما تحمي الجسم من الخلايا السرطانية.
- **Immunity** المناعة : مصطلح يطلق على مقارمة الجسم لمرض معدى.
- **Immunoassay** : طريقة لتبين الهرمونات تعتمد على تفاعل الهرمون مع الجسم المضاد الخاص به **Antigen-antibody reaction** .
- **Immunocytochemistry** : طريقة هستولوجية تجرى بفرض معرفة نوعية الخلايا المنتجة للهرمونات
- **Types of hormone-producing cells** . وأساس هذه الطريقة هو التفاعل الذي يتم بين الهرمون كـ **Antigen** والجسم المضاد المتكون ضده **Antigen-antibody reaction** وبالتالي فهو الذى يحدد نوعية الخلية المنتجة للهرمون.
- **Immunglobulins** : هي الأجسام المناعية **Antibodies**

- **Immunoreactivity** : وهي خصوصية التفاعل بين اليرمون **Antigen** والجسم المضاد **Antibody** المتكون ضده **Antigen-antibody response** .
- **Immunosuppression** : التدخل مع الإستجابة للمناعة.
- **Implantation** الإختراق : هي العملية التي يخترس فيها البلاستوسيت **Blastocyst** في بطانة الرحم.
- **Impotence** : في الذكر عدم المقدرة على الإلتصاب وإتمام عملية الجماع بالأثني.
- **In vitro** : مصطلح يطلق على أى طريقة معملية تجرى لدخل أنبوبة إختبار أو طبق بترى. ومثال ذلك عملية إخصاب البويضة بالحيوان المنوى لدخل أنبوبة الإختبار.
- **Inferior Vena Cava** الوريد الأجوف السفلى : وريد لمف كبير يحصل الدم الغير مؤكسد من الجسم أسفل القلب ويسميه في الأثنى الأيمن.
- **Infertility** عدم الخصوبة (العقم) : في الذكر عدم المقدرة على إنتاج عدد كافي من الحيوانات المنوية الحية، وفي الإناث عدم المقدرة على إنتاج البويضة، أو توفير بيئة داخلية مناسبة لإخصاب البويضة بالحيوان المنوى، أو توفير بيئة داخلية مناسبة للإنتراض.
- **Inhalation** الشهيق : وهي عملية دخول الهواء إلى الرئتين.
- **Inhibin (Sertoli Factor, Folliculostatin)** : هو عبارة عن ببتيد يفرز من خلايا **Sertoli cells** في الخصية ومن خلايا **Granulosa cells** في المبيض ويوجد منه نوعان **Inhibin A** و **Inhibin B** ويمتد أنه يقوم بعمل تنظيم رجسي سالب لإفراز هرمون **FSH** (أى يبطئ إفراز هرمون **FSH**).
- **Inhibiting hormone** : هرمون يارز من الهيبوثالامات ويقوم بتنشيط إفراز أحد هرمونات الغص الأمامي للغدة النخالية.
- **Inner cell mass** : خلايا للـ **Blastocyst** التي سوف تصبح جنين وأمنون.
- **Insulin** هرمون الإيسولين : هرمون يفرز من خلايا β cells في البنكرياس ويقوم بتنشيط خلايا الجسم لأخذ الجلوكوز خاصة خلايا الكبد والمضلات كما ينشط تحويل الجلوكوز إلى جليكوجين في الكبد والمضلات.
- **Insulin-dependent diabetes** : نوع من أنواع مرض السكر يعالج فقط عن طريق الحقن بهرمون الإيسولين لأن سببه هو نقص إفراز هرمون الإيسولين من البنكرياس ويسمى هذا المرض أيضاً **Early-onset diabetes**.
- **Insulin-independent diabetes** : نوع من أنواع مرض السكر يحدث غالباً مع كبار السن وسببه نقص مستقبلات هرمون الإيسولين على الخلايا ولذلك فمعالج عن طريق ضبط الغذاء ويسمى أيضاً **Late-onset diabetes**.
- **Insulin-like growth factor I (IGF-I)** : عامل نمو ببتيدي يفرزه الكبد وخلايا أخرى بالجسم كإستجابة لأثر هرمون النمو عليها لذا فهو يرتبط أثر هرمون النمو على نمو العظام والمضلات وإقسام الخلايا ويعرف أيضاً بإسم **Somatomedin C**.
- **Integral protein** البروتين المتكامل : عبارة عن جزيئات بروتينية كبيرة توجد في الطبقة المزدوجة من اللبدهات في أغشية الخلايا.

- **Integrator** : تركيب أو تكوين في الجسم يسير على عدة تنبيهات من شأنها التوسط في إستجابات معينة لهذا التنبيه.
- **Interceatal muscles** عضلات بين الضلوع : عضلات قصيرة وأقوى توجد بين الضلوع وعندما تنقبض تسبب ارتفاع الصدر وخروجه لأعلى وبالتالي فهي تسبب الشهيق.
- **Interferon** الإنترافيرون : بروتين يفرز من الخلايا المصابة بالفيروس يسبب إكثاف تضاعف الفيروس في الخلايا الأخرى.
- **Interleukin 2** : مادة كيميائية تفرز من خلايا T المساعدة (الليمفاوية) وتنشط خلايا T وخلايا B للإقسام.
- **Intermediate Lobe (Pars Intermedia Of The Pituitary)** : حبة عن لمس موضعه التشريحي بين النصف الأمامي والنصف الخلفي للغدة النخامية ويقوم بإنتاج **Melanocyte Stimulating Hormone (MSH)** . لكن هذا النصف لم يثبت وجوده حتى الآن في الإنسان وفي بعض الأحيان بعض العلماء يضمه للنصف الأمامي والبعض الآخر يضمه للنصف الخلفي.
- **Internal sphincter of the bladder** العضلة الداخلية للصورة الداخلية : مسام من عضلة لا إرادية والتي عن طريق قفل المنعكس تفرز البول. وتتكون من عضلة ناعمة في علق المثانة في منطقة اتصال المثانة بقناة مجرى البول.
- **Interstitial cell stimulating hormone (ICSH)** : هو هرمون LH في الذكور ويقوم بتنظيم إفراز هرمون التستسترون.
- **Interstitial cells** الخلايا البينية : خلايا توجد في النسيج الضام السائب الموجود بين القنيات الملوية بالخصية وتقوم هذه الخلايا بإفراز هرمون التستسترون.
- **Interstitial fluid** : هو السائل المحيط بالخلايا في أنسجة الجسم ويوفر وسط لتبادل الغازات والمواد الغذائية والفضلات بين الخلايا والشعيرات الدموية.
- **Intervertebral disk** الطبق البين الفقاري : مادة متمصة للصدمات توجد بين فقرات العمود الفقري.
- **Intramembranous Ossification** : وهي عملية تكوين العظام مباشرة من الـ **Mesenchyme** دون توسط تكوين الغضاريف **Cartilage** .
- **Intron** : منطوق اللغو في الحامض النووي DNA وهي مناطق لا تشارك وتوجد بين المناطق التي تشارك وتسمى **Exons**.
- **Iodination** : وهي إضافة اليود إلى البروتين كيميائيا أو بعمل إنزيمي.
- **Ion** الأيون : ذرة فقدت أو اكتسبت إلكترون أو أكثر وبالتالي أصبحت سالبة أو موجبة الشحنة.
- **Ionic bond** : رابطة أيونية ضعيفة تتكون بين أيونين مختلفي الشحنة.
- **Irritability** : القابلية للإدراك عن طريق الحواس والإستجابة للمنبه.
- **Islets of Langerhans** جزر لانجرهانز : مجاميع من خلايا الغدد الصماء توجد في البنكرياس وتقوم بإفراز هرموني الإنسولين والجلوكاجون.

- **Isotonic** محلول متعادل : محلول له نفس التركيز الأسموزي لسوائل الجسم.
- **Ketoneacidosis** : وهي زيادة تركيز أيونات الهيدروجين (انقص الـ pH) وتنتج هذه الحالة من زيادة تكوين الأحماض الكيتونية **Ketone acids** في الجسم.
- **Ketosteroids, 17-ketosteroids** : عبارة عن مركب إسترويدي **Steroid compound** يحتوي على مجموعة كيتونية **Ketone group** على ذرة الكربون رقم 17 في الـ **Steroid nucleus** وتنتج هذا المركب الجنسية وكثرة الغدة الجاركلوية.
- **Kidney** الكلية : عضو يخلص الجسم من الفضلات الذائبة ويصل على تنظيم تركيز المواد الكيميائية في الدم.
- **Klinefelter syndrome** مرض كليفيلتر : مرض وراثي ناتج عن تركيب وراثي **XXY**.
- **Lactation** : إنتاج اللبن في الصدر في الإنسان أو الضرع في الحيوان.
- **Larynx** اللحجرة : عبارة عن تركيب عضلاني صلب يحيط بالأحبال الصوتية ويشترك في صلبة بلع الطعام.
- **Lateral Zone (of the Hypothalamus)** : منطقة موجودة في الهيبوثالامات وهي موجودة على جانبي الـ **Third ventricle** في المخ وتختص بتناول الطعام وإفاء بالنسبة لحوالات التجارب.
- **Law of Mass Action** : سرعة أي تفاعل كيميائي يتحدد على التركيزات (in moles) الخاصة بالمواد المتفاعلة.
- **Lee-Boot Effect** : عندما توضع إيث الفئران مع بعضها بعدة تماما عن الذكور (لا تأتي إليها رائحة للذكور عن طريق الريح أو الهواء) تكون فيها دورات الشبق غير متتامة وتسمى هذه الظاهرة **Lee-boot effect** وسببها غياب رائحة الفرومونات الناتجة من ذكر نفس السلالة هذه الرائحة تنظم دورات شبق في الفئران.
- **Leukemia** : سرطان كريات الدم البيضاء..
- **Leukocytosis** : حالة زيادة تركيز كريات الدم البيضاء كنتيجة لإصابة بكتيرية أو فيروسية.
- **Leydig Cells** : خلايا في الخصية تنتج هرمونات الجنسية الذكرية **Testicular androgens**.
- **Ligament** : تركيب من نسج ضام عبارة عن رباط يمر من عظامه إلى عظمة أخرى ويقوم بتدعيم إتصال العظام مع بعضها.
- **Ligand** : أي جزيء أو أيون يرتبط مع سطح البروتين بدون أي وابط تساهمية.
- **Limbic system** : تركيب مخية متداخلة ومتراكبة موجودة في المخ **Cerebrum** وهذه تشترك في وظائف منها الأكل والشبع والإحساس والتعليم والتعلم.
- **Limiting Factor** العامل المحدد : هو عامل واحد يكون هو المؤثر والهام في تنظيم نمو معين في النظام البيئي.
- **Lipase** : الإنزيم الذي يقوم بنزع بعض الأحماض الدهنية من جزيء الجليسرول مكونا جليسرول أحادي. وينتج هذا الإنزيم من الغدة الكظرية والبنكرياس.
- **Lipid** (الليدات) : يطلق عليها أيضا الدهون. وهي جزيئات عضوية غير ذائبة في الماء، توفر طاقة لخلايا الجسم. كما تساعد الجسم في منع الفقد الحراري حيث تعمل كطبقة عازلة تحت الجلد. كما تعمل كمادة خام لإنتاج بعض الهرمونات. وهي أيضا أساسية في مكونات غشاء الخلية.

- **Liver الكبد :** عضو موجود في تجويف البطن ويقوم بعمل عدة وظائف لازمة وضرورية لعملية التوازن الداخلي **Homeostasis**. فهو يقوم بتخزين السكر والدهون، كما يقوم بتخليق بعض بروتينات الدم - ويقوم أيضا بتخزين الحديد وبعض الفيتامينات وبعض الكيمويات المضادة للسموم ويلعب دورا هاما في صلبة الهضم عن طريق إفرازه للصارة المصارية.
- **Long-Lasting Thyroid Stimulator (LATS) :** عبارة عن **immunoglobulins** توجد أحيانا في مرضى **Hyperthyroidism** حيث تسبب زيادة في نشاط الغدة الدرقية وبالتالي زيادة إفرازها من T_3 و T_4 .
- **Long-Loop Feedback :** نمائنا أن الهرمونات الناتجة من الأنسجة الهدف تقوم بتنشيط إفراز الهرمونات المسببة لإفرازها من الغدة النخامية أو الهيبوثالامات.
- **Loose connective tissue النسيج الضام المرن :** نوع من النسيج الضام الذي يعمل أساسا كمادة خلات، ويمتد على جدار من الخلايا دلتل شبكة من الكولاجين والألياف المطاطة كما يحتوي أيضا على خلايا تسمى الجسم من الكائنات الغريبة.
- **Lordosis :** مصطلح يطلق على إنحنى القتران أثناء دور المشايع حيث تلتف الأثني وكلة خاصة تكون فيها مستعدة ولها شكل خاص لإستقبال الذكر لعملية التلقيح.
- **Low-density lipoproteins (LDLs) :** معد من البروتين والدهون (الليبيدات) ويقوم بنقل الكوليسترول وترسيبه في أنسجة الجسم.
- **Lungs الرئتين :** عبارة عن عضوين كبيرين موجودين في التجويف الصدري ويحدث بدناهم عملية التبادل الغازي فيترك الدم ثاى أكسيد الكربون ويُحمل بالأكسجين.
- **Luteinizing Hormone (LH) :** هرمون منه يفرز من النصف الأمامى للنخامية ويحمل بالتعاون مع **FSH** على إحداث التبويض وتكوين الجسم الأصفر في المبيض وإنتاج الهرمون الذكري **Testosterone** من الخصية. ويطلق عليه الهرمون المحدث للتبويض
- **Luteinizing Hormone Releasing Hormone (LHRH) :** عبارة عن **Neurohormone** يفرز من الهيبوثالامات وينشط تكوين وإفراز **FSH** و **LH**.
- **Lymph nodes العقد الليمفاوية :** عقد صغيرة تنتشر على طول الأوعية الليمفاوية وتعمل كمرشح لسائل الليمف.
- **Lymph الليمف :** سائل موجود في الأوعية الليمفاوية مماثل لسوائل أنسجة الجسم - ويحتوى على كريات دم بيضاء وكمية كبيرة من الدهون.
- **Lymphatic system الجهاز الليمفاوى :** شبكة من الأوعية الليمفاوية تأخذ سوائل الجسم الخارجة من أنسجة الجسم وتعيدا إلى الدورة الدموية.
- **Lymphocytes :** نوع من خلايا الدم البيضاء ومنها خلايا **T** الليمفاوية وخلايا **B** الليمفاوية.
- **Lymphoid organs :** الأعضاء الليمفاوية مثل الطحال والغدة التيموسية والى هي جزء من الجهاز الليمفاوى.
- **Lymphokine :** مادة كيميائية تفرز من خلايا **T** المساعدة وتعمل على تنشيط إنقسام خلايا **B** وخلايا **T**.

- **Lysosome** : عضو مغلف بغشاء يحتوي على إنزيمات وهذه الإنزيمات مسؤولة عن هدم أى مادة تدخل الخلية عن طريق الإبتلاع. كما تقوم بتموير الخلايا للشائخة.
- **Lysozyme** : إنزيم ينتج في اللعاب والذي يذيب جدار البكتريا ويقتلها.
- **Macrophage** : خلية ملتهمة مشتقة من خلايا الدم البيضاء وحيدة التواء والتي تكمن في النسيج الضام السائب والتي تدافع عن الأنسجة ضد الغزو البكتيري أو الفطري.
- **Malignant tumor** ورم خبيث : تركيب ناتج عن نمو غير متحكم فيه للخلايا وغالبا ما تهاجر هذه الخلايا السرطانية من مكان الورم لأماكن أخرى بالجسم.
- **Mamillary Bodies** : كتلتين دائريتين متمسكتين بالخط الأوسط بقاعدة المخ.
- **Mast cell** : خلية توجد في عدد من الأنسجة خاصة في النسيج الضام المتلف للأوعية الدموية وتحتوي على حبيبات كبيرة محتوية على الهيستامين.
- **Matrix** : مادة خارج خلوية توجد في الضاريف، وأيضاً يطلق هذا المصطلح على المادة الهيئية في المكونات الداخلية في الميتوكوندريا.
- **Mechanism of Action (of a Hormone)** : معرفة التفاعلات أو التغيرات البيولوجية التي تحدث على المستوى الجزيئي والتي ينتج عنها تغيرات فيسولوجية منسوبة إلى الأثر الفسيولوجي للهرمون.
- **Megakaryocyte** : خلية كبيرة توجد في نخاع العظام وتنتج الصفيحات الدموية **Platelets**.
- **Meiosis** الإنقسام الإختزالي : نوع من الإنقسام الخلوي يحدث في الغدد الجنسية أثناء تكوين الجاميطات، ويحتاج إلى إنقسامين خلويين متتاليين وهما الإنقسام الميوزي الأول والإنقسام الميوزي الثاني. وفي الإنسان يسبب هذا الإنقسام إختزال عدد الكروموسومات من ٤٦ إلى ٢٣ كروموسوم.
- **Melanin** : مادة مشتقة من حمض التيروسين Tyrosine والميلانين الحقيقي يكون أسود أو بني اللون (الصبغة).
- **Melanocyte** : خلية تخلق صبغة الميلانين.
- **Melanocyte Stimulating Hormone (MSH)** : هرمون يفرز من النصف الأوسط للغدة النخامية بسبب إسمه لون الجلد (أو اللون البني) عن طريق تأثيره على الخلايا الصبغية **Melanocytes**.
- **Melanocyte Stimulating Hormone Release Inhibiting Factor (MIF)** عامل يثبّط من إفراز **MSH** من الغدة النخامية.
- **Melanocyte Stimulating Hormone Releasing Hormone (MSHRH)** : عامل يفرز من إبيوثالامات ويثبّط إفراز **MSH** من الغدة النخامية.
- **Melatonin** : هرمون يفرز من الغدة الصنوبرية **Pineal gland** وله علاقة بإسمرار لون الجلد وينشط تخليق هذا الهرمون بإفراز **HIOMT** والإطعام بسبب زيادة نشاط هذا الإنزيم الذي يقوم بتحويل الـ **Serotonin** إلى **Melatonin**.
- **Membranous epithelium** : مصطلح يطلق على أى طبقة من النسيج الطلاشي والتي تكون طبقة مبطننة مستمرة للمخ.

- **Memory cells** خلايا الذاكرة : خلايا T أو B الناتجة بعد التعرض للantigen وهذه الخلايا تقوم بعمل قوة إحتياطية تستجيب بسرعة للantigen عند التعرض له مرة ثانية.
- **Menarche** : الفصح الجنسي في البنت أو حدوث البوارغ الجنسي أى هو يحرف بأول دم حيض (بلمت) تفرجه الأنثى.
- **Menopause** من اليأس : نهاية النشاط التناسلي (التبويض) في المرأة ويحدث غالباً بين سن ٤٥ إلى ٥٥ سنة.
- **Menstrual cycle** الدورة الشهرية (دورة الطمث) : دورة متعاقبة من الوظائف التناسلية للمرأة تحدث كل ٢٨ يوم وتتميز بحدوث تغيرات في المبيض وإفرازات الغدة النخامية مع حدوث تغيرات في بطانة الرحم تؤهلها لإستقبال الجنين. وتحتوى هذه الدورة في داخلها على نزف دم الحيض والتبويض وتخصب الدورة الشهرية (القمرية) من أول يوم يظهر فيه دم الحيض إلى أول يوم يظهر فيه هذا الدم في الدورة التالية.
- **Mesoderm** الميزودرم : ولدت من ثلاثة أنواع من الخلايا التي توجد في المراحل الأولى من التطور الجنيني في الإنسان وتوجد في وسط الجنين المتكون ويتكون منها العضلات والأنسجة والظلمة.
- **Messenger RNA (mRNA)** : نوع من الحمض النووي RNA والذي يحمل معلومات وراثية لازمة لتخليق البروتين إلى سيتوبلازم الخلية ويسمى RNA الرسول.
- **Metabolic acidosis** : حموضة ترجع إلى تكوين أملاح غير حمض الكربونيك.
- **Metabolic alkalosis** : قلوية ناتجة من زرع أيونات الهيدروجين بواسطة أيات غير أيات زرع ثاني أكسيد الكربون أثناء التنفس.
- **Metabolic Clearance Rate (MCR)** : حجم الدم الذي لظهر بالكامل هرمون أو أى مادة أخرى لكل وحدة وقت.
- **Metabolic end product** : الجزء النهائي الناتج عن تفاعل كيميائي أو الناتج عن سلسلة من التفاعلات الكيميائية.
- **Metabolic pathway** للمسلك الأيضي : تفاعلات من التفاعلات الكيميائية التي يتوسطها إنزيمات والتي يتم فيها تخليق جزيئات وهدمها داخل الخلية.
- **Metabolic rate** : طاقة الجسم الكلية لمنطقة (التي يقوم الجسم بإنتاجها) في وحدة من الزمن.
- **Metabolic water** : الماء المنتج أثناء تنفس الخلايا عن طريق إنضاعة البروتينات (أيونات الهيدروجين) والإلكترونات إلى الأكسجين.
- **Metabolism** الأيض (عمليات البناء والهدم) : المجموع الكلي لكل التفاعلات الكيميائية التي تحدث في الكائن الحي.
- **Metamorphosis** : التغير في الشكل والتكوين الذي يحدث أثناء مراحل النمو والتطور. (التغير في النمو والنضج وتشكل البرمائيات يعتمد على الكميات الكافية من هرموني T_4 & T_3).
- **Microfilament** : ليفة صلبة تتكون من بروتين إقنابسي وتوجد في الخلايا في شبكة كثيفة تحت غشاء البلازما حيث تكون جزء من الهيكل الخلوي Cytoskeleton.

- **Microtubules** : بروتين أبيض موجود في سيتوبلازم الخلايا والذي يكون جزء من الهيكل الخلوي. ويكون أيضاً شكل مغزلي.
- **Microvilli** : بروزات صغيرة جداً من غشاء الخلية البلازمية لبعض الخلايا الطلائية المعينة وهذه تسبب زيادة مساحة الإمتصاص.
- **Mineralocorticoid** : يقع تحت هذا القسم من إفرازات الغدة الجار كظرية هرمون أسترويدي يفرز من قشرة الغدة الجار كظرية وينظم ميثايزم الصوديوم. وهرمون الألدوستيرون Aldosterone يعتبر الـ Mineralocorticoid الأول ويقوم بتنظيم ميثايزم الماء والأملاح.
- **Mitochondrion** : غشاء يحيط بعضيد ويعتبر هو مصدر الطاقة في الخلايا مميزة القواة ويحدث بداخله دورة كريس ونظام نقل الإلكترون.
- **Mitosis** : مصطلح يطلق خاصة على إقسام القواة مع إقسام الخلايا ويحدث في أربعة مراحل وتكون الخلايا الناتجة تحتوي على نفس العدد الزوجي من الكروموسومات.
- **Mobile Receptors (Cytoplasmic Receptors)** : مستقبلات موجودة في سيتوبلازم الخلية ترتبط بالهرمونات الإسترويدية Steroid hormones .
- **Monocyte** : خلية دم بيضاء تقوم بإتتهام البكتريا والفيروس في أنسجة الجسم.
- **Morula** : كتلة مصمتة من الخلايا ناتجة عن إقسام الزيجوت لمرات عديدة حتى ظاهرة الـ **Compaction** : والتي فيها يصبح حد خلايا الجنين المتكون لتتغلغل جدر هذه الخلايا مع بعضها.
- **Motilin** : هرمون القناة الهضمية الذي ينشط إنقباض العضلات الناعمة في المعدة والجزء العلوي من الأمعاء.
- **Motor unit** وحدة حركية : ألياف عضلية من هذا محور واحد وتفرعاته.
- **Moyoglobin** : بروتين سيتوبلازمي موجود في الخلية العضلية ويرتبط بالأكسجين.
- **Mucosa** : ثلاث طبقات لجدار القناة المعوية المعوية بجوار التجويف وهم **Epithelium** و **Lamina propria** و **Muscularis mucosa**.
- **Mucus** المخاط : محلول عالي اللزوجة يفرز بواسطة الغشاء المخاطي المبطن القناة التنفسية وأجزاء من القناة الهضمية. ويسبب هذا المخاط ترطيب وحماية الأجزاء التي يبطنها.
- **Müllerian duct** : جزء من الجنين يتحول في الأنثى إلى قنوات الجهاز التناسلي الأنثوي، ولكن يضمحل في الذكور.
- **Müllerian inhibitory factor (MIF)** : نوع من البروتينات يفرز من خصية الجنين والذي يسبب إنضمحل الـ Müllerian duct.
- **Muscle fibre** : خلية طويلة غير متفرعة عديدة الأوية توجد في العضلات الهيكلية.
- **Muscle** العضلة : عدد من الألياف العضلية مرتبطة مع بعضها بواسطة نسيج ضام.
- **Mutation** الطفرة : عبارة عن تغير في التركيب الكيميائي للـ DNA ناتج عن عوامل طبيعية أو كيميائية ويطلق المصطلح أيضاً على حالات التردد الكروموسومي.

- **Myelin sheath** : الغلاف المياليني : طبقة من المادة الدخانية تغطي المحاور العصبية لعدد من الخلايا العصبية في الجهاز العصبي الطرفي والمركزي , تسمى خلايا هذه الطبقة بخلايا شوان.
- **Nyoeptithelial Cells** : خلايا تتقبض وتتسبط وتكثف قنوات الغدة اللبية .
- **Myofibril** : حزمة من الخيوط العضلية الإنقباضية في الخلايا العضلية الهيكلية.
- **M4 Cells** : تركيزات دلتا جدر الربيع والرحاء الناقل والتي تتقبض كاستجابة للتنبه.
- **Myotrium** : عضلات الرحم الناعمة.
- **Myon** : بروتين خيطي يوجد في شبكة الخيوط الدقيقة في عديد من الخلايا كما يوجد أيضا في الخلايا العضلية.
- **Myosin ATPase** : إنزيم في جسور الميوسين العرضية والذي ينصلل أثناء إنقباض العضلة.
- **Natural salection** الانتخاب الطبيعي : هي عملية تطوّر تقوم فيها العوامل الحيوية ولفغير حيوية الموجودة في بيئة معينة باستبعاد الأفراد الغير ملائمة للمعيشة بهذه البيئة ويقتل أي عدد اجهال يتبقى الأفراد المتكاملين للمعيشة بهذه البيئة.
- **Negative Feedback System** : نظام تذهب فيه نواتج التنبه إلى بذلة التنبه لثقل منه.
- **Nephron** : للثرون : وحدة ترشح في الكلية وتتكون من الأنبوية الكلوية والكبيبة (صلبة أو جسمية) الكلوية.
- **Nerve** : العصب : حزمة من الألياف العصبية ممكن أن تتكون من المحاور العصبية Axons أو التنجيرات Dendrites أو الإثنين معا. ويقوم العصب بحمل المعلومات من وإلى الجهاز العصبي.
- **Nervous tissue** : النسيج العصبي : أمد الأنسجة الأولية والذي يوجد في الجهاز العصبي ويتكون من نوعين من الخلايا وهما : الخلايا العصبية Neurons (أو الخلايا الموصلة Conducting cells) والخلايا الداعمة (Supportive cells).
- **Nuclear pores** : حجارة عن الفتحات موجودة على الغلاف النووي وهي تسمح للمواد بالمرور من وإلى الميتوإنزم.
- **Neural Crest Cells** : خلايا تتكون من ال Neural ectoderm عندما يتم تكوين ال Primordial central nervous system في الجنين , هذه الخلايا تنتهي إلى عدة أنواع في الفرد لتمام النمو فهي تكون ال Spinal chain ganglia وخلايا ال C cells في الغدة الدرقية وبعض الخلايا الأخرى المنتجة للهرمونات على مدار الجسم كله.
- **Neuroeffector** : تشبك أو إقتران Synapse بين خلية عصبية وخلية غدية أو خلية عضلية.
- **Neuroendocrine reflex** : لمل إتمكس يحتوي في دخله على كلا من جهاز الغدد الصماء والجهاز العصبي.
- **Neurohormone** : هي نوع من أنواع الرسائل الكيميائية المنظمة وتفرز ال Neurohormones من خلايا عصبية حدث بها تحورات مستتولوجية بحيث أصبحت لها المقدرة على الإفرار وتسمى هذه الخلايا Neurosecretory cells (NSC) ومن أمثلة ال Neurohormones كل ال Releasing and inhibiting factors المفترزة من الهيبوتالاما ولها هرمونات نخاع الغدة الجاركلوية and Epinephrine . Norepinephrine

• **Neuron الخلية العصبية** : خلية عالية التخصص تقوم بإصدار ونقل الإشارات الكهربائية الحيوية Bioelectric من مكان في الجسم إلى مكان آخر.

• **Neurophysin** : بروتين وزنه الجزيئي كبير (٣١٠٠٠) وهو عبارة عن جزي كبير Larger carrier molecule وهو متخصص لحمل الـ Oxytocin ونوع آخر من الـ Neurophysin متخصص لحمل هرمون الـ Vasopressin وينقل الـ Neurophysin من الهيبوثالامس إلى النخاع الخلفي للخلية حاملًا هرموني Oxytocin and vasopressin وينقل عنهم عند الإفراز.

• **Neurosecretion** : الفعل هي العملية التي يفرز فيها Neurosecretory product أو (Neurohormone) والاسم هو هرمون بروتيني يفرز بواسطة أنواع خاصة من الخلايا العصبية موجودة بالقرب من الأوعية الدموية (على حدود الأوعية الدموية) وتربة منها أكثر من غيرها من نهايات الألياف العصبية .

• **Neurosecretory cells (NSC)** : خلايا عصبية متخصصة وظلها بحيث أصبحت لها القدرة على الإفراز وتقوم بإفراز هرمونات عصبية Neurohormones.

• **Neurotensin** : هرمون القناة الهضمية والذي ينظم مرور الغذاء من القناة الهضمية إلى الأمعاء. ويمكن لهذا أن يعمل كـ Neurotransmitter في الجهاز العصبي المركزي.

• **Neurotransmitter or neurohumor** الناقل العصبي : هي نوع من أنواع الرسائل الكيميائية المنظمة وهي تفرز من خلايا عصبية مسبقاوية ليس لها صلات خلايا الـ NSC ويحدث لها تدمير Inactivation في نهايات هذه الألياف لتؤدي وظيفة معينة وإذا سمعها البعض Local hormones ومن أمثلتها Acetylcholine, serotonin, dopamine, and gamma amino butyric acid (GABA) and norepinephrine ويجدر بالذكر أن الـ Norepinephrine المفرز من نخاع الغدة الجار كظرية يعتبر Neurohormone لأنه يفرز من خلايا الـ NSC أما المفرز من الألياف العصبية المسبقاوية فيعتبر Neurotransmitter لأنه يدمر في نهايات هذه الألياف ليؤدي وظيفة معينة .

• **Neutrophil** : خلايا الدم البيضاء المتعادلة والتي تقوم بإتهام البكتريا وهضم الخلايا.

• **Node of Ranvier** عقدة رانفيير : فجوة أو ثغرة أو انقطاع أو فراغ للخلل المياليني توجد على امتداد محور الخلية العصبية حيث ينتطح إتصال الخلل المياليني المتكون من خلايا شوان وتختص عند رانفيير بالتوصيل بالنقل ويطلق عليها أيضا Neurofibril node.

• **Noradrenalin (Norepinephrine)** : هو Neurohormone يفرز من نخاع الغدة الجار كظرية أو هو Neurotransmitter يفرز من خلايا عصبية مسبقاوية أو من أماكن إتصال الخلايا العصبية في العضلات Neuromuscular junction . أو بمعنى آخر هو يعتبر هرمون عصبى Neurohormone إذا تفرز من نخاع الأدرينال Adrenal medulla حيث أنها غلتما عصبية لها صلات NSC. ويعتبر ناقل عصبى Neurotransmitter إذا تفرز في نقط تشابك synapses بمنطقة أخرى من الجهاز العصبي المركزي حيث يحدث له تدمير ويؤدي وظلته في موقع الإفراز.

• **Nuclear envelope (الغشاء النووي)** : عبارة عن غشاء مزدوج يحيط بنواة الخلية.

- **Nuclear T₃** : مستقبل هرمون T₃ موجود لدخل نواة الخلية الهدف.
- **Nucleic acids** الأحماض النووية : RNA , DNA .
- **Nucleus** : مجموعة محددة واضحة من أجسام الخلايا العصبية موجودة في الجهاز العصبي المركزي.
- **Nurse cells** : خلايا الـ Seminiferous tubules والتي تحمي الحيوانات المنوية أثناء فترة تخليقهم وتسمى أيضا Sertoli cells .
- **Olfactor** : غشاء مخاطي في الجزء العلوي من التجويف الأنفي يحتوي على مستقبلات لحاسة الشم.
- **Olfactory nerve** : عصب مسمى رقم 1 يعطي معلومات حسية عن الشم.
- **Oligospermia** : نقص في الحيوانات المنوية الموجودة في السائل المنوي .
- **Oncogene** : جين متغير يسبب السرطان.
- **Oogenesis** : إنتاج الجاميطات في الإناث.
- **Oogonium** : خلية جرثومية بدائية والتي عن طريق الإقسام الميتوزي تعطى Primary oocyte .
- **Oogonia** : خلية مبشيرة لها القدرة على التطور إلى بويضة Develop into ova .
- **Optic Chiasma** : الربط الأمامي للهيروثالامات وهو نقطة التقاطع مع الأعصاب البصرية ولماهي بالنسبة للشفة الخلفية .
- **Optic nerve** : عصب مسمى رقم II يعطي معلومات عن الرؤية.
- **Oral Contraceptive Steroids (OCS)** : مغلول صناعي لهرموني الإستروجين والبروجسترون (هرمونات محضرة صناعيا) يستخدم كمنع للحمل عن طريق تثبيطه لعملية التئويض.
- **Organ system** جهاز عضوي : مجموعة من الأعضاء تتجمع مع بعضها لتؤدي وظيفة عامة.
- **Organ** العضو : تجمع من الخلايا مرتبط مع بعضه في تركيب يؤدي وظيفة معينة.
- **Organogenesis** : عملية تكوين الأعضاء أثناء مراحل التطور الجنيني.
- **Osmolarity** : كمية الكمية لتركيز المذاب في المذيب .
- **Osmoreceptors** : مجموعة خلايا حسية بالهيروثالامات تستجيب للتغيرات في الخصائص الأسموزية في الدم.
- **Osmosis** الأسموزية : مرور المياه عبر غشاء إغثيري منفذ.
- **Osmotic pressure** الضغط الأسموزي : القوة التي تجعل الماء يمر خلال غشاء إغثيري منفذ والنتيجة من إختلاف درجة تركيز كلا من المحلولين.
- **Osteoblasts** الخلايا الباقية للعظام : وتتركز مادة الكولاجين حيث تقوم هذه الخلايا بتخليق وإلتراف البروتينات والسكريات العديدة والتي تكون الجزء العضوي من مادة العظام Bone matrix .
- **Osteoclasts** الخلايا الهادمة للعظام : تتميز بأنها خلايا عديدة الأنوية في النسيج العظمي والتي يمكنها إعادة إتصال العظام لإلتراف الكالسيوم. حيث تقوم بهضم المادة الخارج خلوية للعظام. وينشط هذه الخلايا هرمون الغدد جارث الدرقية.

• **Osteocytes خلايا العظام** : وهى عبارة عن خلايا **Osteoblasts** بعد إنغماسها فى السائل الخارج خلوية البنية المتكسلة فى العظام.

• **Osteogenic Cells** : خلايا أولية تتكون منها الخلايا العظمية .

• **Osteomalacia** : أحد مجموعة أمراض العظام المعروفة باسم **Osteopenia** والتي يستوى فيها الهيكل العظمى على كمية كبيرة من الـ **Demineralized bone** ومرض الكساح أو لين العظام فى الأطفال هو أحد الأمراض المعروفة والمعروفة بالـ **Osteomalacia** .

• **Osteopenia** : مجموعة أمراض تتميز بنقص حجم أو كتلة العظام والثلاثة أمراض الرئيسة لهذه المجموعة هى **Osteoporosis, Osteomalacia and Osteosis fibrosis** .

• **Osteoporosis** : مرض يتميز بالقد فى كلاً من الـ **Bone mineral and bone matrix** وهو مرض من مجموعة أمراض الـ **Osteopenia** والذي يحدث غالباً مع تقدم العمر حيث يزداد الـ **Bone resorption** عن الـ **Bone formation** . وينتج هذا المرض عن نقص حركة ونشاط الرجل والساء كما ينتج أيضاً عن نقص هرمونات المبيض التي تمنع دهم العظام وهذه الهرمونات تنقص فى سن اليأس.

• **Osteosis Fibrosis** : أحد مجموعة أمراض الـ **Osteopenia** وهو **Metabolic bone disease** مثل الـ **Paget's disease** ويصنف بزيادة مستوى **PTH** فى الدم وبالتالي فهو **Primary hyperparathyroidism** والذي فيه تنشط خلايا الـ **Osteoclasts** لإفراز الكالسيوم من العظام.

• **Ovalbumin** : هو بروتين وهو الناتج النهائي لعمل هرمون الإستروجين على كفاءة المبيض.

• **Oxyphil Cells** : خلايا جارات الغدة الدرقية والتي لا تقوم بإفراز هرمون **PTH** ووظيفتهم غير معروفة حتى الآن.

• **Oxytocin** هرمون الأكسيتوسين : هرمون ينتج ويطلق فى الهيوثالامات ويفرز من القوس الخلفى للغدة النخامية ويشمل إنقباضات الرحم وإفراز اللبن من الغدة اللبنية.

• **Ozone (O₃) الأوزون** : جزيئات تتكون من الأكسجين الجزيئى فى الطبقات العليا من الجو . وتتكون طبقة الأوزون **Ozone layer** على بعد ١٢-٣٠ ميل من سطح الأرض وهذه الطبقة تحصى الأرض من الأشعة فوق البنفسجية.

• **Paget's Disease** : مرض عظمى **Metabolic bone disease** يتصف بمعدلات غير طبيعية للـ **Bone resorption** .

• **Pancreas البنكرياس** : عضو يوجد فى التجويف البطنى ويقع تحت المعدة بين الجزء الأول من الأمعاء الدقيقة . ويقوم كغدة خارجية الإفراز بإفراز إنزيمات لازمة لهضم المواد الغذائية فى الأمعاء الدقيقة . وكغدة صماء بإفراز هرمونات لازمة لتنظيم مستوى سكر الدم وهما الإنسولين والجلوكاجون.

• **Pancreatic Polypeptid (PP) : هرمون القنأ الهضمية** الذى يثبط إفراز كلاً من الـ **Bile and pancreatic enzymes** .

- **Pancreatic substance** : مادة تنتج من نوع واحد من الخلايا وتلقى آثارها على نوع آخر من الخلايا المجاورة بواسطة الانتشار الموضعي Local diffusion .
- **Papillae** : لتوابعات أو بروزات صغيرة توجد على السطح العلوي للسان ويحتوي بعضها على براعم للتذوق.
- **Paracrine** : كيميائيات تفرز من خلايا تؤثر على منطلق أو خلايا مجاورة لها عن طريق انتشار هذه الكيمائيات في السوائل الخلوية.
- **Parafollicular Cells** : خلايا الغدة الدرقية خارج حويصلاتها وتسمى أيضا C cells وتقوم بإفراز هرمون Calcitonin .
- **Paraganglia** : مجموعات صغيرة من الـ Chromaffin cells تتبخر (تنتشر) خلال الجسم كله وتقوم بتخليق (إنتاج) Norepinephrine هرمون .
- **Parahormone** : أحد أنواع الرسائل الكيميائية المنظمة وهو ليس هرمون ولكنه Blood borne chemical messenger .
- **Parathyroid Gland Hormone (PTH)** : هرمون صديد البتيد يفرز من الغدة جارث الدرقية ويوصل على رلف مستوى كالسيوم الدم.
- **Parturition** : الولادة (ولادة طفل).
- **Peptide Hormone** : الهرمون الببتيدي هو الذي يحتوي على أقل من 100 حمض أميني في تركيبه بينما الهرمون البروتيني هو الذي يحتوي على أكثر من 100 حمض أميني في تركيبه.
- **Peripheral nervous system (PNS)** : الجهاز العصبي الطرفي : جزء من الجهاز العصبي يتكون من الأعصاب الحسية والحركية والمستقبلات.
- **Phaeochromocytoma** : ورم في الـ Paraganglia .
- **Phagolysosome** : ارتباط مؤقت بين حبيبات الـ Colloid المحتوية على الهرمون أو منتج آخر من الخلية مع الليزوسوم Lysosome. هذا التركيب يحدث أثناء الـ Endocytosis (عملية تعتمد على الطاقة في نزع مكونات الخلية من التجاويف أو السوائل وإدخالها إلى سيتوبلازم الخلية كما يحدث عند تخليق هرمونات الغدة الدرقية T_4 و T_3).
- **Pharmacological Dose** : هي جرعة من مادة معطاه للمريض مثل الهرمون لكنها أكبر من الكمية الطبيعية الموجودة في جسم الفرد السليم.
- **Phenotype** : الشكل الظاهري للفرد.
- **Pheromone** : مادة تفرز خارج الحيوان وتنتشر في البيئة المحيطة به ولها تأثير تكاثلي على سلوك حيوان آخر من نفس النوع أو الصنف أو السلالة.
- **Photoreceptors** : خلايا مستقبلات ضوئية : خلايا عصبية متخصصة تستجيب للإضاءة توجد في شبكية العين للإنسان والحيوانات الأخرى.

- **Physiological Dose** : هي كمية المادة المعطاء الحيوان مثل الهرمون وهي مائلة تقريبا للكمية الطبيعية للنس للمادة الموجودة في الفرد السليم.
- **Pineal gland** : الغدة الصنوبرية : غدة صغيرة Neuroendocrine organ تقع في المخ وتقوم بإفراز هرمون الميلاتونين والذي يعتقد أنه ينظم الساعة البيولوجية في الجسم.
- **Pituicytes** : خلايا غير منتجة الهرمونات موجودة في النخاع الخلفي للغدة النخامية.
- **Pituitary gland** : الغدة النخامية : غدة صماء صغيرة تقع تحت المخ (أسفل منطقة تحت المهاد) ولون سق الحلق في تعريف يسمى Sella turcica وتتكون في الإنسان من فصون هما الفص الأمامي والفص الخلفي وفي الحيوان يزداد الفص وهو اللص الأوسط وتقوم بإفراز عدد من الهرمونات.
- **Placenta** المشيمة : عضو يتكون من أنسجة الجنين والأم ويؤرد الجنين بالمغذياته الغذائية كما يخلصه من الفضلات.
- **Placental Lactogen** : ويسمى أيضا Chorionic Somatomammotropin (CS) وهو هرمون يروجني يارز من المشيمة وهو يبه نمو وتطور الغدة اللبنية وينشط تخليق اللبن .
- **Plasma cell** : خلية تنتج من خلية B الليمفاوية B-lymphocytes وتقوم بتخليق وإفراز الأجسام المضادة.
- **Plasma membrane** : غشاء البلازما : الطبقة الخارجية للخلية وتتكون من طبقتين من الليبيدات بينها طبقة من البروتين وتتمتع في حركة للمواد من وإلى الخلية.
- **Plasma** البلازما : هي السوائل الخارج خلوية للدم وتشكل حوالي 55% من حجم الدم.
- **Plasmids** البلازميدات : خيوط دائرية دقيقة من الـ DNA توجد في سبيليات الخلية البكتيرية منفصلة عن DNA الرئيسي للخلية البكتيرية. وتستخدم الآن في مجال الهندسة الوراثية.
- **Plasmin** : إنزيم في الدم يساعد على إذابة الجلطة الدموية.
- **Plasminogen** : الجزء الغير نشط من البلازمين Plasmin.
- **Platelets** الصفيح أو اللقطة الدموية : شظايا خلوية تنتج من Megakaryocytes في نخاع العظام الأحمر. وتلعب دورا هاما في عملية تكوين الجلطة الدموية.
- **Plexus** : شبكة من الأعصاب والأوعية الدموية أو الأوعية الليمفاوية.
- **Polydipsia** : عرض من أعراض مرض السكر وهو شرب الماء بكميات كبيرة.
- **Polygenic inheritance** : نال الصفات الوراثية (من الآباء إلى الأبناء) التي يتحكم فيها أكثر من زوج واحد من الأليلات.
- **Polyribosome** : ويطلق عليه أيضا Polysome وهو عضيد Organelle خلوي يتكون من عدد من الريبوسومات المرتبطة بـ m-RNA واحد فقط ويقوم بتخليق بروتينات تستخدم لدخل الخلية.
- **Polyuria** : إفراز كمية كبيرة من البول المخفف.
- **Positive Feedback System** : لحد النظم التي تعمل الإستجابة فيه على زيادة لفتبه.

• **Postabsorptive State** : وهي الفترة التي تعقب الهضم والامتصاص للمادة الغذائية ويكون فيها الجلوكوز غير متوفر كمصدر للطاقة ، لكن بعض المواد الأخرى هي التي تستخدم كمصدر للطاقة مثل جليكوجين الكبد والعضلات ، والدهون والبروتينات. والهرمون الرئيسي في هذه الفترة هو هرمون الجلوكاجون Glucagon .

• **Posterior pituitary** الغدة الخلفية للتخلفية : عبارة عن غدة سماء حشوية Neuroendocrine gland تتكون من خلايا حشوية متحورة للإفراز NSC. أجسام هذه الخلايا توجد في الهيبوثالامات ومحاورها توجد في الغدة الخلفية ولذا فتخليق الهرمونات يتم في الهيبوثالامات وتخزينها وإفرازها يتم من الغدة الخلفية وهذه الهرمونات هي الأكسيتوسين والهرمون المضغ للتبول. ADH.

• **Postsynaptic** : خلية حشوية توصل المعلومة بعيداً عن نقطة التشابك.

• **Potential** الجهد : إختلاف الفولت بين نقطتين.

• **Precursor** : هي الصورة الغير نشطة بيولوجياً للهرمون أو الإنزيم.

• **Pregnane** : عذلة (مجموعة) الهرمونات الاسترويدية التي تحتوي على ٢١ ذرة كربون في تركيبها.

• **Presynaptic neuron** : الخلية الحشوية التي تحمل فعل الجهد إلى نقطة التشابك (الإقتران) synapse.

• **Primary oocyte** : الخلية الجرثومية في الأنثى التي تقوم بعمل أول إنقسام ميوزي لتكون الـ Secondary oocyte والجسم القلبي Polar body.

• **Primary spermatocyte** : خلية جرثومية ذكرية مشقة من الـ Spermatogonia وتقوم بعمل إنقسام ميوزي لتكون عدد اثنين Secondary spermatocytes.

• **Principal Cells** : وتسمى أيضاً Chief cells وهي خلايا الغدة جارلات الدرقية التي تلتج هرمون PTH (Parathyroid hormone) .

• **Pro-opiomelanocortin (POMC)** : جزيء بروتيني كبير يتحدر Precursor لمدة هرمونات منها هرمون ACTH ، MSH ، والإندورفين Endorphin.

• **Progestagens** : مركبات صناعية لهرمون البروجسترون (بروجسترون صناعي) وسن أمثلتها Norethynodrel and norethindrone .

• **Progesterone** : هرمون الإسترويدي يفرز بصفة أساسية من الجسم الأصفر والمشيمة ويكافئ خضيلة من كثرة الغدة الجاركلوية وينشط نمو الصدر والغدة الرحمية ويثبط إفرازات العضلات للناعمة بالرحم. ويسبب هذا الهرمون إستئصال الحمل. وقد تم تصنيعه ويستخدم كمناع للحمل في النساء في عملية تحديد النسل.

• **Progestins** : هي نساها الـ Progestagens .

• **Prohormone** : هي سلسلة طويلة من الأحماض الأمينية تحتوي في داخلها على الهرمون النشط ومثال ذلك الـ Proinsulin هو الـ Prohormone لهرمون الإنسولين.

• **Prolactin (PRL)** : هرمون يفرز من الغدة الأمامية للغدة الخلفية وهو Direct acting hormone وينشط إنتاج اللبن في الغدة الثديية .

- **Prolactin Inhibiting Factor (PIF)** : هو Neurohormone يبرز من الهيپوثالامك ويؤبط إفراز هرمون البرولاكتين من القس الأمامي للغدة النخامية.
- **Prolactin Releasing Factor (PRF)** : هو Neurohormone يبرز من الهيپوثالامك وينشط إفراز هرمون البرولاكتين من القس الأمامي للغدة النخامية.
- **Promoter** : تتابع نيوكليوتيدى متخصص يوجد فى بداية الجين وهو الذى يحدد أى من زوج الخيوط فى الـ DNA هو الذى سوف يقوم بطبع الـ m-RNA.
- **Prostaglandin** البروستاجلاندينات : مجموعة واحدة من الأحماض الدهنية الغير مشبعة والمتصورة (Eicosanoids) والتي تمثل أساسا من طريق الـ Autocrine and paracrine functions.
- **Prostate gland** غدة البروستاتا : غدة جنسية مساعدة توجد بجوار حنق المثانة وتلتف حول قناة مجرى البول وتنتج سوائل تنضاف إلى الحبيرات الملونة أثناء عملية القذف.
- **Protein Hormone** : الهرمون البروتينى هو الذى يتكون على أكثر من 100 حمض أمينى فى تركيبه والهرمون الببتيدى هو الذى يتكون على أقل من 100 حمض أمينى فى تركيبه.
- **Proto-oncogenes** : جينات موجودة فى الخلايا والتي عندما تتعرض تؤدى إلى نمو سرطاني.
- **Provitamin D** ويسمى أيضا 7-Dehydrocholesterol : وهو مشتق من الكوليسترول ويوجد فى الطبيعة إما فى الغذاء أو فى جلد الحيوان ويتحول بواسطة الأشعة فوق بنفسجية للشمس إلى الصورة القابلة للاستفادة وهي فيتامين D₃.
- **Pseudohermaphroditism** : حالة يكون فيها الفرد وراثيا من لحد الجنسين (ذكر أو أنثى مثلا) لكن يحمل أعضاء خارجية جنسية للجنس الآخر (يعنى أنه لو كان الفرد ذكرا ويكون له أعضاء خارجية جنسية للأنثى والعكس صحيح بالنسبة للأنثى).
- **Pyloric sphincter** : حلقة من خلايا العضلات الناعمة فى الجزء السفلى من المعدة عند اتصالها بالاثني عشر وتعمل كصمام مرور حيث تفتح (بعد تحويل الغذاء إلى كتلة الكيموس) على فترات متعاقبة لتسرع كتل غذائية متعاقبة إلى الأمعاء الدقيقة.
- **R₊** : فى المخلوقات الكيميائية تعنى الجزء المتبقى من الجزيء.
- **Radioactive Isotopes** : عبارة عن عنصر تنبث منه طاقة عالية أو إشعاع (عنصر مشع).
- **Radioimmunoassay (RIA)** : طريقة قياس الهرمونات فى محاليل بيولوجية وأساسها تخصصية الارتباط (التفاعل) بين الهرمون والجسم المضاد له (Antigen-antibody) ويستخدم فيها الهرمون المشع Radioactive isotope tracer حيث تتم عملية تنافس بين هذا الهرمون والهرمون المراد قياسه على أماكن الارتباط Binding sites فى الجسم المضاد Antibody.
- **Radioimmunosequencing** : طريقة Technique لمعرفة نوعية وتتابع الأحماض الأمينية فى البروتينات.
- **Radioreceptor assay (RRA)** طريقة لتقدير الهرمونات تستخدم فيها المستقبلات المتخصصة Specific receptors للهرمونات البروتينية والهرمونات الإسترويدية.

- **Rate-limiting enzyme** : إنزيم في مسلك ميتابولزمي (أيضي) يتشبع بسهولة بالمادة الخام المتفاعلة Substrate وبالتالي فهو الذي يحدد المعدل الكلي للمسلك الميتابولزمي.
- **Rate-limiting reaction** : كل تفاعل في المسلك الأيضي يحفز بواسطة Rate-limiting enzyme.
- **Receptor** : هذه الكلمة لها تعريفان مختلفان : التعريف الأول : أنها نهايات متخصصة للألياف العصبية أو هي خلايا عصبية منفصلة ومتخصصة في إستقبال التغيرات البيئية وإرسالها في صورة تذبذب (مثل الـ Photo receptor cells) ، والتعريف الثاني : هو عبارة عن بروتين يربط الهرمونات في بداية قيام الهرمون بأداء وظيفته البيولوجية فالمستقبلات البروتينية موجودة على جدر الخلايا وفي سيتوبلازم الخلية.
- **Receptor activation** : تنشيط المستقبل : تغير في التركيب البنائي للمستقبل يحدث كنتيجة لإرتباط الرسول الكيميائي بالمستقبل.
- **Receptor** : المستقبل في الجهاز الحسي : نهايات خلايا عصبية طويلة متخصصة توصل للدماغ (نحو للمركز). أو غدة متصلة تشترك في ذلك بطريقة قوية حيث تكتشف التغيرات في بعض الظروف البيئية. أما في الاتصالات الكيميائية فهي مواقع لإتباط متخصصة على أغشية الخلايا أو في داخل الخلية الهدف والتي يرتبط بها الرسول الكيميائي لإظهار أثره البيولوجي.
- **Recessive** : ملتحى : مصطلح يطلق على الأليل لأحد الجينات والذي يقا (يظهر) أثره في حالة غياب أليله السائد.
- **Recombinant DNA technology** : تقنية حديثة يقوم فيها العلماء بأخذ قطع من DNA فرد ونقلها وإحماها في DNA فرد آخر.
- **Red blood cells (RBCs)** : خلايا كريات الدم الحمراء : خلايا مزلة (مسلوبة) منها فلوادة توجد في الدم وتقوم بحمل الأكسجين في الدورة الدموية.
- **Red bone marrow** : نخاع للعظام الأحمر : نسيج يوجد داخل تجويف نخاع العظام وهو مكان لإنتاج خلايا وصقل الدم.
- **Reduction** : الاختزال : إضافة الهيدروجين أو الإلكترون إلى الجزيء.
- **Reflex** : إنعكاس : إستجابة لوتوماتيكية للتنبه وتوسطها الجهاز العصبي.
- **Regulatory Subunit** : ترتبط بـ cAMP وتنفصل عن الـ Protein kinase لتعمل الـ Catalytic subunit.
- **Relaxin** : هرمون بروتيني يبرز أثناء الحمل من الجسم الأسفل في المبيض ويقوم بتلين الألياف العضلية عند مطلق الإنساق العظم للماء.
- **Renal tubule** : قناة كلوية : الجزء من الكلرون الذي ينتج البول.
- **Renin** : إنزيم يبرز من الكلية من الـ Juxtaglomerular apparatus وهو يقوم بتحويل المكون الغير نشط Inactive precursor إلى Angiotensin إلى الـ Angiotensin II.
- **Renin** : هرمون الرنين : يبرز من الكلية يعمل كإنزيم حيث يحفز تحويل الأنجيوتنسينوجين إلى أنجيوتنسين I.
- **Residual volume** : حجم الهواء المتبقي في الرئتين بعد زفير عميق.

- **Respiration (الخلية) :** إستخدام الأكسجين في العمليات الأيضية (المتابولية) لتوليد الطاقة الخلوية (بالنسبة للجهاز التنفسي) : هو التبادل الغازي للأكسجين وثاني أكسيد الكربون بين الكائن والبيئة الخارجية (المحيط به).
- **Respiratory acidosis :** زيادة تركيز أيونات H^+ الشرياني لإحتواء (إحتباس) ثاني أكسيد الكربون بفراغين وعدم طرد الكمية الكلية المنتجة منه.
- **Respiratory alkalosis :** نقص تركيز أيونات H^+ الشرياني عندما يكون كمية المطرود من فترتين من ثاني أكسيد الكربون أكبر من الكمية المنتجة منه.
- **Respiratory quotient (RQ) :** النسبة بين ثاني أكسيد الكربون المنتج إلى الأكسجين المستهلك أثناء عمليات الميتابولزم.
- **Respiratory rate :** عدد التنفّسات في الدقيقة للولادة.
- **Resting membrane potential جهد الغشاء وقت الراحة :** إختلاف الفولت بين داخل الخلية العصبية وخارجها في غواب المنبذات المهيجة أو المهيطة ويطلق عليه أيضا جهد الراحة Resting potential ويطلق عليه أيضا Membrane potential.
- **Restriction endonuclease :** إنزيم يستخدم الآن في التقنية الحديثة في عمليات الإتحافات الجديدة للـ DNA فهو متخصص لقطع الـ DNA في أماكن معينة.
- **Retrovirus :** نوع خاص من الفيروسات المعنوية على RNA والتي تحمل الإنزيم الذي يمكنها من إنتاج الفيوط المتماثلة (المكتملة) من DNA على RNA للقلب.
- **Reverse transcriptase :** إنزيم يسمح بإنتاج DNA من خيوط RNA الفيروسي.
- **Reverse Triiodothyronine (rT₃) :** هي الصورة الغير نشطة بيولوجيا لهرمون T₃ والنتيجة من العملية الإنزيمية لنزع اليود Enzymatic deiodination لهرمون T₃ خارج خلايا الغدة الدرقية (أو بمعنى لفر أن هرمون T₃ يتحول خارج خلايا الغدة الدرقية - أساسا في الكبد والكلى - إلى هرمون T₃ وهي الصورة النشطة Metabolic active form و rT₃ وهي الصورة الغير نشطة Metabolic inactive form).
- **Ribosomal RNA (rRNA) :** هو RNA المنتج على النوية ويتحد مع البروتين لتكوين الريبوزوم.
- **Ribosome الريبوزوم :** عضيد خلوي يتكون من Two subunits كل واحدة منها تتكون من بروتين متعدد مع rRNA ويلعب دور هام في تخليق البروتين.
- **Rickets :** مرض الكساح أو لين العظام في الأطفال سببه نقص فيتامين D .
- **RNA processing :** عملية نزع إنزيمية لتعاقبات اللغو intron sequence الموجودة على RNA الجنديد المتكون.
- **Rough endoplasmic reticulum (RER) :** الشبكية الإندوبلازمية الغشائية : شبكة إنزيمية مغطاة بالريبوسومات تنتج Lysosomal enzymes وبروتينات لإستخدامها خارج الخلية.

- **Salivary glands** الغدد اللعابية : غدد خارجية الإفراز موجودة حول تجويف الفم وتنتج اللعاب.
- **Scrotum كيس الصفن** : كيس جلدى يحتوى بدلفله على الخصيتين.
- **Second Messenger** : مادة تتوسط أثر الهرمون على الخلية الهدف مثل CAMP والتي تأخذ معلومات من الـ **Hormone-receptor complex** وتنقلها إلى جزيئات أخرى داخل الخلية الهدف.
- **Secondary sex characteristics** صفات الجنس الثانوية : صفات مظهرية للرجال والنساء تظهر كنتيجة لأثر هرمونات الجنس الإسترويدية. على الرجال يظهر شعر الذنن والشنب وشعر الصدر وعرق الصوت... الخ. وعلى النساء يظهر الصدر بنمو كتئين وترميم للدهن فى مناطق المؤخرة والذراعين والأرجل ... الخ.
- **Secretin** : هرمون القناة الهضمية الذى يسبب تنشيط إفراز إنزيمات البنكرياس.
- **Secretin hormone** : هرمون تتلجه خلايا بالإثنى عشر ويقوم باتبية البنكرياس لإنتاج بيكرينات الصوديوم.
- **Selective permeability** : التحكم فى من الذى يمر عبر غشاء الخلية.
- **Semen** السائل المنوى : سائل يحتوى على الحيوانات المنوية وإفرازات الغدد الجنسية المساعدة.
- **Seminiferous tubules** القنوات المنوية : قنوات منتجة للحيوانات المنوية فى الخصية. أى هى عبارة عن تركيب أنبوية داخل الخصية يحدث فيها صلية تكوين الحيوانات المنوية **Spermatogenesis**.
- **Sertoli Cells (Nurse Cells)** : خلايا الـ **Seminiferous tubules** والتي تحمى الحيوانات المنوية أثناء فترة تكوينهم.
- **Sex-linked traits** الصفات المرتبطة بالجنس : صفات تنتج من جينات محمولة على كروموسومات الجنس.
- **Short-Loop Feedback** : وبها تقوم إفرازات (هرمونات) الغدة للخلفية بتثبيط إفراز الواسل المنشطة لإفرازها من الـ **hypothalamus**.
- **Sinoatrial node** : ملظم السرعة فى القلب موجود فى جدار الأذين الأيمن ويقوم بإرسال نبضات بموحد إلى عضلة القلب حيث يتزامن مع هذه النبضات انقباض عضلة القلب.
- **Skeletal muscles** العضلات الهيكلية : عامة هى العضلات المتصلة بالهيكل العظمى وتسبب حركة أجزاء الجسم المختلفة.
- **Smooth endoplasmic reticulum (SER)** الشبكة الإندوبلازمية الناعمة : شبكة إندوبلازمية لا تحوى على ريبوسومات وتنتج افسفوجليسريدات **Phosphoglycerides** والتي تستخدم فى تصنيع غشاء الخلية. ويقوم بعمل حديد من الوصلات المختلفة فى الخلايا المختلفة.
- **Smooth muscles** عضلات ناعمة (لمسام) : هى عضلات لا يوجد بها تخطيط (غير مضطربة) لا إرادية توجد مثله لأوعية الجهاز الهضمى ولجدر بعض الأعضاء مثل المعدة والرحم والأمعاء.
- **Somatomedins** : مواد تفرز فى الكبد كاستجابة لتنبيه الكبد بهرمون النمو **GH**. وهى تنشيط إستسماح الـ **Sulfates** فى الغضاريف.
- **Somatostatin (Somatotropin Release Inhibiting Factor-SRIF)** : عبارة عن **Neurohormone** يفرز من الـ **hypothalamus** ويصل للنس الأمامى للخلفية لويثبط إفراز هرمون النمو **GH** والهرمون المنبه للغدة لثرقية

- TSH** : وهو أيضا هرمون الغدة الخلفية الذى يبطئ إفراز الحمض المعدى **Gastric acid secretion** وإفراز العصارة البنكرياسية **Pancreatic secretion** وحركة الأمعاء **Intestinal motility** .
- **Somatotropia** : هو نفسه **Somatotrophic hormone (STH)** وهو أيضا هرمون نمو **Growth hormone (GH)** وهو هرمون يفرز من القوس الأمامى للغدة الخلفية ويصل ك **Direct acting hormone** وهو مؤثر على ميتابولزم البروتين والكربوهيدرات وينشط النمو بوجه عام فى الجسم.
- **Sertoli Factor** : ويسمى أيضا **Inhibin** كما يسمى أيضا **Folliculostatin** وهو يثبط يفرز بواسطة خلايا **Sertoli cells** فى الخصية وخلايا **Granulosa cells** فى المبيض ، ويعتقد أن وظيفته أنه يعمل لتنظيم رجعى سالب لإفراز هرمون **FSH** (**Negative feedback effect on FSH secretion**) .
- **Specificity** : هى العلاقة التى تحدث بين المسبب والأثر الناتج عن هذا المسبب ومن أمثلتها **Antigen-antibody reaction** و **Hormone-receptor complex** .
- **Spermatogenesis** : عملية تكوين الحيوانات المنوية فى القنات المنوية.
- **Spermatogonia** : خلايا الخصية التى لها القدرة أن تتطور (تتحول) إلى حيوان منوى.
- **Spinal nerve** : عصب شوكى : عصب يخرج من الحبل الشوكى.
- **Spongy bone** : العظم الإسفنجى : نوع من السجج العظمى يوجد دالئل أغلب العظام ويتكون من شبكة غير منتظمة من الأشواك العظمية.
- **Steroid Hormones** : هى لبيدات مشتقة من الكوليسترول ومجموعة الهرمونات الإستروئيدية تتميز جميعها بوجود **Steroid nucleus** فى تركيبها.
- **Stroma** : عبارة عن **Framework** موجود فى السبيض بين **Gamete** والخلايا الممرزة للهرمونات الاستروئيدية.
- **Substance P** : هرمون المخ وله علاقة بالاحساس بالألم **Sensation of pain** .
- **Substrate** : جزئ ملائم للإطباق على المواقع النشط من الإنزيم.
- **Suckling Stimulus** : تنبيه مبدئى **Neuroendocrine reflex** يحتوى بدلفه إفراز اللبن من الحلمات أثناء إدرار اللبن.
- **Sulcus** : حجارة عن أخدود (شق أو تجويف) **groove** كالموجود فى **Cerebral cortex** .
- **Surfactant** : مادة منظمة تشبهه بالفوسفوليبيدات تنتجها الرئة تذوب فى الطبقة الرقيقة من الماء المبللة للحويلة الهوائية وتساعد على تكاثر التوتر السطحي لماء المبلل للحويلة الهوائية ويقتضى لا تنهار الحويصلة الهوائية.
- **Sympathoadrenal System** : نظام يجهز الفرد لمقاومة الضغوط (أو هو نظام يجهز الفرد للإستجابة لضغوط وجد انهما) وفى هذه الحالة يعمل كلا من نخاع الغدة الجار كظرية والأعصاب السمبثوية **Autonomic nervous system** تجهيز الفرد للإستجابة ومقاومة الضغط الواقع عليه.

- **Synapses** **نقطة التشابك أو الإقتران** : تشرحها هي نقطة اتصال بين خليتين عصبيتين حيث يقوم النشاط الكهربى فى أحد الخلايا العصبية بالتأثير التثبيطى على الخلية التالية. كما يطلق هذا المصطلح على نقطة الاتصال بين خلية عصبية و Effector cell.
- **Synaptic cleft** : فراغ ضيق بين خليتين عصبيتين هما خلية ما قبل الإقتران و خلية ما بعد الإقتران الكيمى.
- **Synergism** : هرمون أو عدة هرمونات يؤثران على نفس التفاعل ويزيدوا الأثر النهائى لمجموعهم.
- **Systemic circulation** : جهاز الأوعية الدموية الذى ينقل الدم من وإلى القلب والجسم مع إستخدام الرنتين. أى أنها الدورة الدموية من القلبين الأيمن إلى كل أعضاء الجسم ما عدا الرنتين.
- **T-lymphocyte** : نوع من الخلايا المناعية المسؤولة عن المناعة فهى تقوم مباشرة بمهاجمة الخلايا الغريبة والخلايا المصابة بالفيروس وخلايا السرطان وتعرف أيضاً بخلايا T.
- **Tamocytes** : خلايا مكعبة ثلاثية كبيرة والتي تبطن الـ Third ventricle المخ، وتتوفاة أو إمتدادات هذه الخلايا تتحد مع الأوعية الدموية فى الغدة الخلفية ومع كوية الهيبوثالامات .
- **Tast buds** براعم التذوق : مستقبلات للتذوق موجودة أساساً فى التسيج اللطلى السطحى وبعض الحلمات الموجودة على اللسان. أو هي أعضاء حسية تحتوى على مستقبلات كيميائية خاصة بالتذوق.
- **Temporal Lobes (of the cerebrum)** : الجزء من الـ Cerebrum القريب من الأذن. Sulci of the temporal lobes هي عبارة عن الأشرطة الجاذبية للهيبوثالامات.
- **Tendon** : الحزمة من الألياف الكولاجينية التى تربط العضلة الهيكلية بالمنظمة وتنقل قوة انقباض العضلة إلى المنظمة.
- **Testes** الخصيتان : والمارد لها هو الخصية Testis وهى الغدة الجنسية فى الذكر وتقوم بإفراز هرمونات الجنس الإسترويدية وإنتاج الحيوانات المنوية.
- **Testosterone** : هرمون الجنس الذكرى. وهو عبارة عن هرمون أسترويدي Steroid hormone ينتمى لمائلة هرمونات الـ Androgens .
- **Testosterone** **الهرمون الذكرى** تستسترون : وهو هرمون يفرز من الخصيتين ويسبب تنبيه تكوين الحيوانات المنوية وإظهار صفات الجنس الذكرية الثانوية مثل شعر اللكن والشبب وعصق الصوت ولحم العضلات... الخ.
- **Tetany** : خلل فى العضلات أعراضه التشنج العضلى والنوبات التشنجية للعضية اللا إرادية Cramps and bronchial spasms ويحدث هذا الخلل كنتيجة لنزح الدم جازات الدرقية مع عدم الحثن بهرمون PTH .
- **Thymosis** : هرمون يتبدى يفرز من الـ Thymus gland .
- **Thyroglobulin** : عبارة عن جليكوبروتين مرتبط باليود Iodinated glycoprotein ويعتبر Prohormone للهرمونات النشطة الغدة الدرقية (T_4 & T_3) .
- **Thyroid gland** **غدة الدرقية** : غدة على شكل حرف U أو شكل حرف H توجد فى الرقبة على جانبي القصبة الهوائية بعد الحجرة مباشرة وتفرز هرمونى الثيروكسين والتراى ليودوثيروين وبها أيضاً خلايا C-cells والتي تقوم بإفراز هرمون الكالسيتونين.

- **Thyroid Stimulating Hormone (TSH) Thyrotropin** : الهرمون المنبه للغدة الدرقية : هرمون يبتدى بارز من الفص الأمامي للغدة الخلفية وينشط تخليق وإفراز هرموني الثيروكسين والتراي يودوثيرونين من الغدة الدرقية.
- **Thyrototoxicosis** : وهي حالة Hyperthyroidism وهي إفراز كميات زائدة من هرمونات الغدة الدرقية.
- **Thyrotropin** : هو نفسه **Thyroid Stimulating Hormone (TSH)**.
- **Thyrotropin Releasing Hormone (TRH)** : عبارة عن Neurohormone يارز من الهيبوثالامات وينشط إفراز كلا من TSH وهرمون البرولاكتين PRL من الفص الأمامي للخلفية .
- **Thyroxine (T_4)** : هرمون الغدة الدرقية رباعي اليود : يتقدم بتنظيم الميتابولزم للجسم كله صوما كما أنه ينشط تخليق البروتين .
- **Thyroxine-Binding Globulin (TBG)** : بروتين موجود في بلازما الدم يربط كلا من T_4 & T_3 .
- **Thyroxine-Binding Prealbumin (TBPA)** : بروتين موجود في بلازما الدم يربط هرمون الثيروكسين T_4 ولا يربط هرمون T_3 Triiodothyronine (T_3) .
- **Tissue التسيج** : عبارة عن مكون في الجسم يتكون منه الأعضاء وهو عبارة عن خلايا ومواد خارج خلوية مثل الدموقل والألياف وما شابه ذلك.
- **Total peripheral resistance (TPR)** : المقاومة الكلية لتدفق الدم في الدورة الجهازية ممتدة من شريان الأورطي حتى الوريد الأجوف Vena cavae.
- **Trachea القصبة الهوائية** : قناة مارده موصله للهواء من الطحجرة إلى الرئتين.
- **Tract** : حزمة كبيرة من الألياف العصبية للميالينية موجودة في الجهاز العصبي المركزي CNS.
- **Tracts** : حزمة من الألياف العصبية في الجهاز العصبي المركزي (CNS) Central nervous system.
- **Transamination نقل مجموعة الأمين** : تفاعل يحدث فيه نقل مجموعة الأمين NH_2 من الحمض الأميني إلى حمض كيتوني وذلك يتحول الحمض الكيتوني إلى حمض أميني.
- **Transcortin** : هو عبارة عن بروتين يربط الهرمونات الإسترويدية Corticosteroid binding globulin (CBG) .
- **Transcription** : هي العملية التي يتم بواسطتها نقل المعلومات الوراثية من DNA إلى RNA (أو بمعنى أن المعلومات الوراثية الموجودة على الكودون - ثلاثي النيوكلوتايد - تنتقل إلى RNA).
- **Transcription صليبة للتسيج** : تكوين RNA الرسول (m-RNA) والذي يتكون من غيبط نصلي من النيوكليوتيدات تحتوي على المعلومات الوراثية للجين الذي نسخ منه، وتعتبر هذه أول خطوة في تخليق البروتين.
- **Transduction** : هي العملية التي يحدث فيها تحول (إتقال) الطاقة لمنبهه إلى المستجيب.
- **Transfer RNA (tRNA)** : جزيئات صغيرة من RNA تتحد بالأحماض الأمينية في الميتوبلازم وتنقلهم إلى المواقع المتفصصة على RNA الرسول.

- **Transformation** : ظاهرة تحول الخلية الطبيعية إلى خلية سرطانية.
- **Transition reaction** التفاعل الإنتقالي : هذا التفاعل جزء من تنفس الخلوى والذي فيه تتفصل ذرة كربون من حمض البيرويك و ينتج مركب من ذرتين كربون ويتفاعل الأخير مع Coenzyme A والمركب الكيميائى الناتج يدخل دورة كريس.
- **Translation** الترجمة : هى العملية التى يتم فيها نقل المعلومات الوراثية من DNA إلى RNA الذى يقوم بدوره بتقليد الأوامر الخاصة بالأحماض الأمينية المكونة للبروتين. أو هى العملية التى يقصد بها تخليق البروتين على RNA قالب.
- **Translocation** : هى العملية التى يحدث فيها قطع جزء (كلمة) من الكروموسوم لكن هذا الجزء يتحد مرة أخرى بمكان آخر على نفس الكروموسوم أو على كروموسوم آخر.
- **Transporter** : بروتين غشائى منتظم والذي يتوسط مرور الجزيئات عبر غشاء الخلية ويطلق عليه أيضاً بروتين حامل Carrier protein.
- **Tricarboxylic acid cycle** : هى نفسها دورة كريس Krebs cycle أو Citric acid cycle.
- **Tricuspid valve** صمام ثلاثى الشرفات : صمام بين الأذين الأيمن والبطين الأيمن فى القلب.
- **Triiodothyronine (T₃)** : هرمون الغدة الدرقية ثلاثى اليود ويفرز من الغدة الدرقية ويرتبط بمستقبل خاص فى نواة الخلية Nuclear receptor وهو أكثر نشاطاً من هرمون الثيروكسين.
- **Triplet code** الشفرة ثلاثية النيوكلئوتيدات : أى ثلاثة قواعد متعاقبة على الـ DNA والرسول RNA للكرين حمض أملى معين.
- **Trophic Hormones** : هرمونات تفرز من الغصن الأمامى للغدة النخامية ولها غدة هدف تعمل عليها لتتبع إشاراتهما من الهرمونات. والـ Trophic hormones هى الهرمون المنبه للغدة الدرقية TSH - الهرمون المنبه لنشرة الغدة الجار كظرية ACTH - الهرمون المنبه للحويصلات المبيضية FSH - الهرمون المحدث للتبويض LH.
- **Trophoblast** : الطبقة الخارجية للبلاستولا Blastocyst والتي تعطى فى المستقبل أنسجة المشيمة.
- **Trophoblast cells** : خلايا الجنين التى تكون المشيمة placenta والأغشية الخارجية للجنين Extraembryonic membranes.
- **Tropic hormone** : هرمون ينشط هرمون آخر وغالباً ما يشجع نمو الغدة التى تفرز هذا الهرمون أيضاً.
- **Trypsin** للتريبسين : إنزيم يفرز فى الأمعاء الدقيقة من البنكرياس كغدة صماء ويفرز فى صورة بريبسوجين ويقوم هذا الإنزيم بهضم بعض البروتينات والبيبتيدات المعقدة.
- **Trypsinogen** : الصورة الغير نشطة من التريبسين وتفرز بواسطة البنكرياس كغدة خارجية الإفراز.
- **Tryptophan** : حمض أملى ضرورى ويخلق منه الـ Serotonin.
- **Tunica Albuginea** : نسيج ضام يغطى الخصية والمبيض.

- **Type I diabetes** : نوع من أنواع مرض السكر يحدث أساساً في صغار السن كنتيجة نقص الكميات المنتزعة من هرمون الإنسولين ويحدث ذلك كنتيجة لضعف خلايا β -cells في جزر لانجرهانز بالبنكرياس والمنتزعة الهرمون الإنسولين.
- **Type II diabetes** : نوع من أنواع مرض السكر يحدث في الأصغر المتأخرة (بعد عمر 40 عام تقريباً). ويتبع عن ضعف أو ضياع مستقبلات هرمون الإنسولين ويطلق على هذا النوع من المرض أيضاً **Late-onset diabetes**.
- **Tyrosine** التيروسين : حمض أميني يخلق منه هرمونات الدرقية وهرموني الأبينغون والثور إينغون.
- **Ultra-Short Loop Feedback** : خلايا حسية في الهيبوثالامات تفرز **Neurohormones** وتثبط هذه الخلايا عن طريق إفرازاتها نفسها أو إفرازات خلايا حسية مجاورة لها.
- **Ureter** المثالب : أنبوبة مفرغة تقوم بنقل البول من الكلية إلى المثانة عن طريق الإنقباضات التمعجية **Peristaltic contractions**.
- **Urethra** قناة مجرى البول : قناة ضيقة تقوم بنقل البول من المثانة إلى خارج الجسم وفي الرجال تقوم أيضاً بنقل السائل المنوي إلى خارج الجسم.
- **Urinary bladder** المثانة البولية : عضو مرن قابل للانقباض ذات جدار عضلي يبطن بسبيج ثلاثي إشعاعي ويقوم بتخزين البول إلى حين تفرغه عن طريق قناة مجرى البول.
- **Urine** البول : سائل يحتوي على عديد من المواد المفرجة عن طريق الكلية ويطرده بعد ذلك من المثانة البولية.
- **Uterus** الرحم : عضو بالجسم يسكن فيه الجنين أثناء مراحل تطوره.
- **Vagina** المهبل : عضو أنثوي يحمل كسمك القمل للحيوانات المنوية كما يحمل كتلة لسرور الجنين أثناء عملية الولادة.
- **Vas deferens** للوعاء الناقل : قناة تنقل للحيوانات المنوية من الخصية إلى قناة مجرى البول وتقبض أثناء عملية التلقيح.
- **Vasectomy** مقطوع للوعاء الناقل : إحدى طرق منع الحمل عن طريق الذكور (لرجال في الإنسان) حيث يتم قطع الرحم الناقل وعق حاقته حتى يمنع وصول الحيوانات المنوية إلى قناة مجرى البول أثناء عملية التلقيح.
- **Vasoactive Intestinal Peptide (VIP)** : هرمون يفرز من الخلايا الحسية في مويكوزا الأمعاء **intestinal mucosa** وينشط إفراز الجلوكونز من الكبد ويثبط إنتاج الحمض للمعدة **Gastric acid**.
- **Vasopressin** : يعرف أيضاً بالهرمون المساعد للتبول **(ADH) Anti-diuretic hormone**. وهو **Neurohormone** يفرز من الهيبوثالامات ويخزن في القص الخلفي للغدة النخامية وينظم ميزان الماء **Water balance** في الأنسجة وينشط إمتصاص الماء من الكلية والمستويات العالية منه تسبب إنباضاً للأوعية الدموية وبالتالي زيادة ضغط الدم.
- **Vein** الوريد : نوع من الأوردة الدموية التي تحمل الدم إلى القلب.

- **Ventromedial Zone** : جزء من الهيبوثالامس يطر من الخلف مباشرة الغدة النخامية وهو يشترك في تنظيم الغذاء المتكول في حيوانات التجارب.
- **Vesicle** : تجويف على جدار الخلية (من الداخل) الملوثة الهرمون ويحتوي هذا التجويف على الهرمون في شكل لي صوره جيبية وعادة ما يكون الهرمون في حالته الغير نشطة **Precursor state** .
- **Villi** للامعاء : تفرعت على شكل الاصابع تطل جدر الامعاء الدقيقة وهي تسبب زيادة مسطح الامتصاص.
- **Virus** الفيروس : هو شئ محير العلماء فهو ليس كائن حي لأنه لا ينقسم كما أنه ليس بكثيريا لأنه لا يوجد به عضيات خلوية. وهو عبارة عن طرد من **DNA** أو **RNA** مغلف بغلاف بروتيني يسمى **capsid**. وهذه الفيروسات تنزول الخلايا وتستخدم سيتوبلازم الخلية لاصولها الاضية (الميتابولزمية).
- **Vitamin D** : مادة تشبه الهرمون تنتج من الصورة الغير نشطة للڤيتامين في الجلد عن طريق عمل الأشعة فوق البنفسجية وهو يعمل على خلايا الامعاء الدقيقة لتنشيط امتصاص الكالسيوم .
- **Vitamin D₂** : هو نفسه **Cholecalciferol** وهو الصورة القابلة للإستفادة من اڤتامين **D** ويؤسب الصورة الغير قابلة للإستفادة والصورة النشطة .
- **Vitamin E** الڤيتامين : ولعد من مجموعات متنوعة من المركبات العضوية وهو ضروري لعدد من التفاعلات الميتابولزمية.
- **Vocal cords** الحبال الصوتية : أربطة مطاطة موجودة في الحنجرة وعد تذبذب هذه الحبال عد مرور الهواء من الرئتين فهي تصدر الأصوات.
- **White blood cells (WBCs)** خلايا الدم البيضاء : خلايا دم تتكون في نخاع العظام وهي تشترك أساسا في محاربة العدوى.
- **White matter** : الجزء من المخ والنخاع الشوكي الذي يظهر أبيض للميون المجردة ويتكون أساسا من ألياف عصبية ميالينية.
- **Whitten Effect** : هو عكس الـ **Lee-Boot effect** وهو ظاهرة الإستفادة من الريح التي تنتقل للرومونات الذكورية من ذكر للفران لتشتمها الانث وتسبب ثلاث الفران إنتظام الـ **Estrus cycle** ونقص الفترة بين دورتين شجاع .
- **Yellow marrow** نخاع العظام الأصفر : نخاع غير نشط في العظام لكبار السن (حيوان وإنسان) ويحتوي على دهون ويتكون من نخاع العظام الأحمر.
- **Zona Fasciculata** : الطبقة الوسطى في قشرة الغدة الجاركلوية وتقوم بإفراز الـ **Glucocorticoids and adrenal androgens** .
- **Zona Glomerulosa** : الطبقة الخارجية من قشرة الغدة الجاركلوية وتفرز هرمون الالوسترون **Aldosterone**.
- **Zona pellucida** : شريط من مادة تغلف الـ **Oocyte** .

• **Zona Reticularis** : الطبقة الداخلية من قشرة الغدة الجاركلوية وتقوم بإفراز **Glucocorticoids and adrenal androgens** .

• **Zygote** للزيجوت : خلية تتكون من اتحاد الحيوان المنوي مع البويضة أثناء عملية الإخصاب ويحتوى على ٤٦ كروموسوم لدى الإنسان وعلى العدد الزوجي لدى الحيوانات الأخرى.

وآخر دعوانهم أن الحمد لله رب العالمين

صدق الله العظيم

References

1. "Animal Physiology", Adaptation And Environment. By Knut Schmidt Nielsen Cambridge University Press (1975).
2. "Avian Physiology". By Paul Sturkie. Cornell University Press (1965). U.S.A.
3. "Human Biology". Health, Homeostasis And The Environment. Second edition By Daniel D. Chiras. West Publishing Company New York (1995).
4. "Human Biology" By Aiesh Mahmoud Zytone. Faculty of Science And Education, Jordan University. Dar el Shrouk Publishing Company (1994).
5. "Human Physiology". Sixth edition By A.J Vender, J.H.Sherman and D.S. Luciano. University of Michigan McGraw Hill, Inc. (1994).
6. Am J Med. "Circulars" From 1982 to 1990.
7. Anatomy of Human Body. By H. A. Friehat 4th edition Dar El-Shrouk, 1993.
8. Ann. Rev. Physiol. "Circular" From 1991 to 1998.
9. "Basic Respiratory Physiology". By N.C. Staub. Churchill, Livingstone, New York, (1990).
10. Biochemistry . "Circulars" : From 1987 to 1998.
11. "Biology" 2nd ed. by Ville, Solomon, Martin, Berg and Davis (1988).
12. "Cardiovascular Physiology" 6th edition. By R.M. Berne and M.N. Levy. Mosby St. Louis, (1992).
13. "Cell and Tissue Biology" : A Text Book of Histology. 6th edition By Weiss, Leon. Urban & Schwarzeberg, Baltimore. (1988).
14. "Chemistry of The Living Cell". By Bittar, E Edward. JAI Press, Greenwich Conn. (1992).
15. "Cytology". By M. Al-Banhawy, F.I. Khatab, M.A. El-Ganzory and A.M. El-Shershaby. Dar El-Maarf. 1991.
16. Diabetes. "Circulars" : From 1984 to 1998.
17. Diabetes/Metab. Rev. "Circulars" : From 1987 to 1997.
18. Endocrine Reviews. Circular. From 1989 to 1998.

19. "Endocrinology"-by Mac E. Hadley (1992)
20. "Endocrinology" By Medhat H. Khalil Mohamed. Al-Azhar University El-Madina Bookshop. Al-Ain U.A.E. (1997).
21. Endocrinology, Biological and Medical Perspectives. by Mary J. Paxton (1986).
22. Endocrinology. "Circular". From 1993 to 1998.
23. Endocrinology Biological and Medical Aspects By Medhat H. Khalil Mohamed Al-Azhar University. (1996).
24. "Energy Metabolism" : Tissue Determinants And Cellular Corollaries. By Kinney, John M., and Hygh N. Tucker. Raven, New York, (1992).
25. "Essentials of Endocrinology"-Edited by T.L.H. O'Riordan et al. (1988).
26. "Essentials Of Human Anatomy". 8th edition. By R.T. Woodburne. Oxford, New York (1988).
27. FASEP. J. "Circulars" : From 1989 to 1998.
28. "Gastrointestinal Physiology" 3rd edition. By L.R. Johnson., Mosby, St. Louis, (1985).
29. Genetics. By Ursula Goodenough. Holt Saunders Limited. Eastborne, East Sussex. (1981).
30. "Gray's Anatomy Of The Human Body". 30th American edition. By C.D. Clemente. Lea & Febiger, Philadelphia (1984).
31. "Hematology". 5th edition By W.S. Beck. MIT, Cambridge, (1991).
32. J Clin Endocrinol Metab. "Circulars" : From 1986 to 1998.
33. J Clin Invest. "Circulars" : From 1986 to 1998.
34. Biol Chem . "Circulars" : From 1992 to 1998.
35. Journal of Clin. Endocrinol. Metab. "Circular". From 1992 to 1998.
36. Journal of Clin. Invest. "Circular". From 1991 to 1998.
37. Journal of Histochem. Cytochem. "Circular". From 1992 to 1998.
38. Journal Of Physiology (London). "Circular" From 1992 to 1998.
39. Journal of Toxicol Environ. Health. "Circular" From 1992 to 1998.
40. Lecturer in "Human Physiology". By Prof. Medhat H. Khalil. El-Ain Univ. U.A.E. 1996.
41. Lectures in "Adaptability of Sheep Under Hot and Cold Environments" by Prof. Medhat H. Khalil Al-Azhar University From 1981-1998.
42. Lectures in "Animal Physiology" (Mammals) by Prof. Medhat H. Khalil. El-Ain Univ. U.A.E. 1996.

43. Lectures in "Environmental Physiology". Post Graduate course, by Prof. Medhat H. Khalil Al-Azhar University From 1981-1998.
44. Lectures in "Human Biology" by Prof. Medhat H.Khalil El-Ain Univ. U.A.E 1996.
45. Lectures in Advanced endocrinology (A & B) by Prof. M.H. Salem. Advanced endocrine courses A & B in Al-Azhar University, Fac. of Agric. Anim. Prod. Dept. in 1974, 1975.
46. Lectures in Endocrinology by the Distinguished Professor, Mohamed K. Yousef. Endocrine cours in University of Nevada, Las Vegas, Nevada in 1989.
47. Lectures in Endocrinology, Basic prenciples and advanced courses (A & B). By Prof. Medhat H. Khalil, Al-Azhar Univ. From 1981 until 1998.
48. Medical Immunology. By J.T. Barrett. F.A. Davis, Philadelphia, (1991).
49. Metabolism. "Circular" : From 1988 to 1996.
50. "Molecular Biology of the Cell". 2nd edition By Aberts, Bruce, D. Bray, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts and J.W. Watson Garland Publishing New York, 1989.
51. "Molecular Cell Biology" 2nd edition. By Darnell, James, Harvey Lodish, and David Baltimore. Scientific American Books, New York, 1990.
52. Nature (London) "Circular". From 1989 to 1998.
53. Nerve and Muscle. 2nd edition. By R.D. Keynes and D.J. Aidley., Cambridge, Cambridge (1992).
54. Nerve Cells and Nervous Systems : An Introduction To Neuroscience. By A. G. Brown. Springer Verlag. London, (1991).
55. New Eng. J. Med. "Circular" From 1973 to 1976.
56. Physiol Rev. "Circular". From 1990 to 1998.
57. "Physiology" 3rd edition By R.M. Berne and M.N. Lery. Mosby, St. Louis (1992).
58. "Principles Of Genetics", 7th edition By A.G. Gardner. Tohn Wiley & Sons. Inc. (1984).
59. "Principles of Genetics". 7th edition. By A. G. Gardener. Translated to Arabic by, A.S. H.Shawki, F.M. Abd-El-Tawab, A.Z. Abd-el-Salam and M.A. Esmail And reviewed by E.H. Hassanien. Al-Dar Al Arabia Lil Nashr Wa Al Tawzeia. (1987).
60. "Principles Of Genetics". By E.W. Sinnott, L.C. Dunn, and T.Dobzhansky. McGrow-Hill Book Company, INC., N.Y. (Translated to Arabic by A.M. Omar, O.M. Refaat, T.Y. Fahmy and A.H. Mohamed. and reviewed by G. El-Malah and A.El-Tobgy) (1969).
61. "Principles of Neural Science" 3rd edition By E.R. Kandel, J. H. Schwartz, and T.M. Jessell. Elsevier/ North-Holland, New York, (1991).

62. "Proteins" : Structures and Molecular Principles. By Creighton, Thomas E. Freeman, New York (1984).
63. "Recombinant RNA". By Watson, Michael Gilman, Jan Witkowski and Mark Zoller. Freeman, New York , (1992).
64. "Renal Physiology" 4th edition. By A.J. Vander McGraw-Hill, New York, (1992).
65. "Renal Physiology". By B.M. Koeppen and B.A. Stanton. Mosby Year book, St. Louis, (1992).
66. "Reproductive Endocrinology". 3rd edition. By S.S.C. Yen and R.B. Jaffee. Saunders, (1991).
67. "Respiratory Physiology" 3rd edition By A.H. Mines Raven, New York, (1992).
68. "Review Of Medical Physiology". 16th ed. By W.F. Ganong Lange, Los. Atlos, Calif. (1993).
69. Science. "Circular". From 1980 to 1998.
70. "Skeletal Muscle In Health And Disease" : A Textbook Of Muscle Physiology. By D.A. Jones and J. M. Round. Manchester University Manchester, England, (1990).
71. "Stress and Immunity". By N.A. Plotnikoff, M.R. Faith and J. Wybran. CRC, Boca Ration, La., (1991).
72. "Textbook Of Anatomy". 4th edition By W. Hollinshead, Henry and C. Rosse. Harper and Row, Philadelphia (1985).
73. "Textbook of Biochemistry" With Clinical Correlations. 3rd edition By Devlin, Thomas M. Wiley Liss New York (1992).
74. "Textbook of Endocrine Physiology" Edited by J.E. Griffin and S.R. Ojeda (1988; 1992).
75. "Textbook of Immunology". 5th edition. By J.T. Barrett. Mosby, St. Louis, (1988).
76. "Textbook Of Medical Physiology". 8th edition By A.C. Guyton. Saunders, Philadelphia, (1991).
77. "Textbook of Endocrinology" "Williams"-Edited by Jeand wilson and Daniel W. Foster (1985, 1992).
78. "The Kidney" : Physiology and Pathophysiology 2nd edition. By. D.W. Selden and G.H. Giebisch. Raven, New York, (1992).
79. "The Kidney". 4th edition By B.M. Brenner and F.C. Rector. Saunders, Philadelphia, (1991).
80. "The Lung" : Scientific Foundations. By R.G. Crystal and J.B. West Raven, New York, (1991).

81. "The Neuron" : Cell and Molecular Biology By I.B. Levitan and L.K. Kaczmarek. Oxford, New York, (1991).
82. Trends Neurol Sci. "Circulars" : 1990 to 1993.
83. "Visual Perception" : The Neurophysiological Foundations. By L. Spillman and J.S. Warner. Academic, San Diego, (1990).







فيسيولوجيا الحيوان

نبذة عن المؤلف

- ولد في محافظة الشرقية بمصر عام ١٩٤٧.
- حصل على درجة البكالوريوس من جامعة الأزهر عام ١٩٧٢ بتقدير عام ممتاز وكان أول الدفعة.
- حصل على الماجستير في فيسيولوجي الحيوان من جامعة الأزهر عام ١٩٧٦.
- حصل على درجة الدكتوراه في العدد الصماء وفيسيولوجي الحيوان من جامعة الأزهر بالتعاون مع هيئة العلوم القومية الأمريكية (National Science Foundation (NSF).
- منذ تخرجه عام ١٩٧٢ عمل معيدا بجامعة الأزهر ثم مدرسا مساعدا ثم مدرسا ثم أستاذا مساعدا ثم أستاذا لفيسيولوجي الحيوان بجامعة الأزهر منذ ام ١٩٩١ وحتى تاريخه.
- اختير من قبل هيئة علوم البيئة العالمية لرئاسة إحدى جلسات مؤتمر علوم البيئة العالمي المنعقد في فيينا في سبتمبر ١٩٩٠، وحضر وشارك بأربعة بحوث في هذا المؤتمر.
- اختير من قبل هيئة علوم البيئة العالمية لرئاسة إحدى جلسات مؤتمر علوم البيئة العالمي المنعقد في كاليفارنيا في سبتمبر ١٩٩٣، وحضر وشارك بثلاثة بحوث في هذا المؤتمر.
- اختير من قبل هيئة علوم البيئة العالمية لرئاسة إحدى مجموعات (مجموعة الانسان والحيوان والبيئة) مؤتمر علوم البيئة العالمي المنعقد في لوبليانا بسلوفينيا في سبتمبر ١٩٩٦، وحضر وشارك بأربعة بحوث في هذا المؤتمر.
- اختير من قبل جامعة الإمارات العربية المتحدة للعمل استاذاً زائراً بكلية العلوم عامي ١٩٩٦ و ١٩٩٩م.
- عضو جمعية علوم البيئة العالمية.
- عمل عضواً بالفريق العلمي لوضع بعض المناهج الدراسية لجامعة الشرق الأوسط للعلوم والتكنولوجيا والمزمع إنشائها بجمهورية مصر العربية.

كتاب موسوعي كل ما تريد معرفته عن جسمك

ماذا ينتظر القارئ من كتاب علمي يحمل عنوان "فيسيولوجي الحيوان"؟

قد نقول بعد النظرة السريعة الى غلاف الكتاب ... لا شيء ... فما علاقة القارئ للإنسان بالحيوان؟ لكن النظرة المتأنية تثبت أن العكس هو الصحيح فكل كلمة في هذا الكتاب الموسوعة وثيقة الصلة بحياتنا اليومية، وتفسر لنا حقيقة أجسامنا بداية من الخلية وحتى التغذية السليمة والحواس، فباستثناء الجهاز الهضمي فإن أجهزة الجسم لا تختلف من الحيوان الى الإنسان إذ أن لها التركيب ذاته ونؤدي الوظائف نفسها.

University Book House

Ain - United Arab Emirates

Box 16983 - Fax: 7542102

(971) (3) 7554845 - 7556911

Mail: bookhouse@emirates.net.ae



دار الكتاب الجامعي

العين - الإمارات العربية المتحدة

ص.ب. ١٦٩٨٣ - فاكس: ٧٥٤٢١٠٢

هاتف: ٧٥٥٤٨٤٥ - ٧٥٥٦٩١١ (٣) (٩٧١)

Website: www.universitybookhouse.com

وكلاء التوزيع

- المكتبة الصوتية للتربية ت: ٤٩٣٠٩٨٩ الرياض - السعودية
- مكتبة دار الثقافة ت: ٤٦٤٦٣٦١ عمان - الأردن
- دار العلوم للنشر والتوزيع ت: ٥٧٦١٠٠ القاهرة - مصر
- دار الفلم للفلايين ت: ٣٠٦٦٦ بيروت - لبنان
- مكتبة الجامعة ت: ٩٤٦٥٨٣١ دولة الكويت

